Au nord du 60e

Études environnementales n° 6

Études sur les bassins à boue: I Perturbations du terrain

Études environnementales n° 6

Études sur les bassins à boue: I Perturbations du terrain

H.M. French,
Département de géographie et de
planification régionale
Université d'Ottawa

©Publié avec l'autorisation
de l'hon. J. Hugh Faulkner, ministre
des Affaires indiennes et du Nord Canada
Ottawa, 1978.
QS-8195-000-FF-A1
N° de catalogue: R71-19/6-1978F
ISBN 0-662-90113-4

Le présent rapport est une étude faite en vertu d'un contrat, pour le Programme de recherches sur l'utilisation des terres de l'Arctique de la Division des études sur l'environnement, Direction de la protection de l'environnement du Nord du ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada

Les opinions, les conclusions et les recommandations exprimées dans ce rapport n'engagent que l'auteur et ne sont pas nécessairement celles du Ministère.

This publication is also available in English.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
	LISTE DES TABLEAUX	iii
	LISTE DES FIGURES	iv
	REMERCIEMENTS	vi
	RÉSUMÉ	vii
1.	PROJET D'ÉTUDE SUR LES BASSINS À BOUE DE RUTA	1
II.	INTRODUCTION - PHASE I	3
III.	ÉTUDE SUR LES BASSINS À BOUE	4
	1. Îles de l'Arctique de l'Ouest	4
	i) Île Banks	9
	ii) Île Melville	14
	iii) Île Cameron	19
	iv) Autres	23
	2. Delta du Mackenzie	25
	i) Delta contemporain	26
	ii) Delta du Pléistocène	29
	iii) Hautes terres	32
	3. Versant nord de l'Alaska	32
	i) Objectifs	34
	ii) Puits anciens, NPR-4	34
	iii) Puits actuels, NPR-4	37
	iv) Commentaires sur l'expérience en Alaska	37
IV.	CONCLUSION	38
	BIBLIOGRAPHIE	48
	ANNEXE 1. Liste des emplacements des forages d'exploration visités en 1976 et 1977, décrits dans ce rapport	51
	ANNEXE 2. Liste des emplacements de forage de la NPR-4, Alaska, visités du 28-30 juin 1977	56

LISTE DES TABLEAUX

		Page
1.	Température de la couche active (°C), profondeur de dégel et valeurs de résistance au cisaillement, emplacement Deminex Orksut I-44, île Banks, 9 juillet 1976.	44
2.	Température de la couche active (°C) et profondeur de dégel dans des terrains perturbés et non perturbés des emplacements Wilkie Point J-51 et Dyer Bay I-59, île Prince-Patrick, 16 août 1976.	45
3.	Tableau analytique des problèmes reliés aux bassins à boue, et des exemples expliqués dans le texte.	46
4.	Classement des puits d'exploration selon les calendriers et les méthodes d'exploitation. Problèmes reliés aux bassins à boue et autres difficultés.	47

LISTE DES FIGURES

			Page
1.		Relevés faits dans l'île Banks, 8-10 juillet 1976	5
2.	a)	Relevés faits dans l'île Melville et les régions adjacentes de l'Extrême-Arctique, 4-11 août 1976 Est de l'île Melville et de la presqu'île Sabine	6
	b)	Relevés faits dans l'île Melville et les régions adjacentes de l'Extrême-Arctique, 4-11 août 1976 Autres îles de l'Extrême-Arctique	7
3.		Relevés faits dans le delta du Mackenzie, 7-11 septembre 1976	8
4.	a)	Effondrement après le rétablissement de la végétation à l'emplacement Panarctic Elf Bar Harbour E-76 au nord-ouest de l'île Banks, 8 juillet 1976	11
	b)	Ravinement et érosion des matériaux de remplissage du bassin à boue de l'emplacement Castel Bay, C-68, 9 juillet 1976	11
	c)	Vue aérienne de l'emplacement Elf Kusrhaak D-16, au centre-nord de l'île Banks, 10 juillet 1976	11
	d)	Vue au sol d'une masse d'eau stagnante formée le long du côté ascendant du bassin à boue, emplacement Kusrhaak D-16, 10 juillet 1976	11
5.	a)	Vue aérienne d'un système de rigoles polygonal raviné en formation sur le site d'une ballastière, emplacement Deminex Orksut I-44, dans le sud de l'île Banks, 10 juillet 1976	13
	b)	Topographie typique de thermokarst à l'emplacement Orksut I-44, 16 août 1977	13
	c)	Vue aérienne oblique de l'emplacement Drake D-68, dans l'est de l'île Melville, 7 août 1976	13
	d)	Vue aérienne de l'emplacement Drake B-44, presqu'île Sabine, île Melville, 7 août 1976	13
6.	a)	Vue aérienne d'un bassin à boue effondré à Hecla J-60, presqu'île Sabine, dans l'est de l'île Melville, 9 août 1976	17
	b)	Vue aérienne du bassin à boue à l'emplacement Hecla I-69, presqu'île Sabine, 9 août 1976	17
	c)	Vue aérienne de l'emplacement Panartic Chads Creek B-64, presqu'île Sabine, 10 août 1976	17

			Page
	d)	Vue aérienne de l'emplacement Panartic Bent Horn A-02, 14 août 1976, révélant la perturbation du terrain	17
7.	a)	Vue du bassin à boue principal à l'emplacement Bent Horn I-01, 10 août 1977, environ 5 mois après le recouvrement du bassin	22
	b)	Vue aérienne du bassin à boue restauré à l'emplacement Elf Dyer Bay I-59, île Prince-Patrick, 16-17 août 1976	22
	c)	Vue aérienne de l'emplacement Shell Niglintgak M-19, 10 septembre 1976	22
	d)	Vue aérienne de l'emplacement Imperial Taglu F-43, dans le delta du Mackenzie, 9 septembre 1976	22
8.	a)	Vue aérienne de l'emplacement proposé de Tullugak, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976	27
	b)	Vue aérienne de l'emplacement Gulf Parsons Lake N-10, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976	27
	c)	Vue aérienne de l'emplacement Gulf Parsons Lake A-44, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976	27
	d)	Vue aérienne de l'emplacement Shell Beaverhouse Creek H -13, sur les pentes des hautes terres, du côté ouest du delta du Mackenzie, 8 septembre 1976	27
9.		Relevés faits dans la NPR-4 en Alaska, 28-30 juin 1977	33
10.	a)	Vue aérienne du puit d'essai Simpson n° 29, U.S. National Petroleum Reserve (NPR-4), Alaska, montrant la vieille plate-forme de la tour de forage et des boues de forage de rebut, 28 juin 1977	35
	b)	Débris à l'emplacement d'Old Fish Creek, U.S. National Petroleum Reserve (NPR-4), Alaska, 30 juin 1977	35
	c)	Vue aérienne de l'emplacement Husky Oils (NPR) Operations Ltd., South Simpson NPR-4, foré en 1976-1977, 30 juin 1977	35
	d)	Vue aérienne d'opérations de forage des puits à Prudhoe Bay, Alaska. On utilise de grandes plates-formes en gravier et un bassin à boue communal, 30 juin 1977	35

REMERCIEMENTS

Je désire remercier l'industrie pétrolière et gazière de l'aide fournie grâce à l'Arctic Petroleum Operators Association (APOA), sans laquelle ce projet n'aurait pu être mené à terme. Je tiens également à souligner l'importance du rôle de la Panartic Oils Ltd. et en particulier de M. R.G.S. Currie qui a été l'un des promoteurs et des tenants de ce projet.

Les personnes suivantes étaient chargées de la logistique et/ou ont apporté une aide précieuse sur place: T. Beck, de l'Aquitaine of Canada Ltd.; C. Bonke, de la Shell Canada Ltd.; B. Burrows, R.G.S. Currie et N. Simpson, de la Panartic Oils Ltd.; J. Guthrie et G. Habke, de la Gulf Canada Ltd. et G. Hobson, de l'Étude du plateau continental polaire, ÉMR.

S. Johnson de l'Aquitaine et A. Kirkhope de la Shell m'ont accompagné lors de visites à des emplacements de forage dans l'île Prince-Patrick et dans le delta du Mackenzie respectivement. Leur participation a été très appréciée.

Je tiens enfin à remercier la Beak Consultants Ltd. qui a mis à notre disposition un campement à la base du lac Caribou, dans l'île Melville.

RÉSUMÉ

L'objectif de ce rapport était l'étude des problèmes de terrain et d'utilisation des terres pour plus de 47 emplacements de forage abandonnés dans le delta du Mackenzie et les îles de l'Arctique. Environ 30 p. 100 des emplacements observés ont révélé des problèmes reliés directement ou indirectement aux bassins à boue ou à la retenue des déchets liquides de forage. Ces derniers ont été classés de la façon suivante: (1) type A - problèmes de fuite au cours du forage, (2) type B - problèmes de fonte pendant les travaux d'été et (3) type C - problèmes de rétablissement de la végétation. Les problèmes de type C sont les plus courants; il s'agit en effet de l'affaissement et de l'effondrement du bassin, des fuites de déchets liquides pendant le recouvrement du bassin à boue, des fuites souterraines de déchets liquides et des perturbations excessives des terrains adjacents aux bassins à boue. Il semblerait que les travaux de forage achevés en un seul hiver permettent de réduire les difficultés. Par contre, des forages faits en deux hivers, et au cours desquels le bassin à boue est laissé à l'air libre, ainsi que les travaux de forage réalisés en un seul été, seraient habituellement à l'origine de plus grandes complications.

En plus de ces problèmes, on aborde dans ce rapport un certain nombre de méthodes possibles d'élimination des déchets liquides. Dans certains cas, on peut, entre autres, déverser directement les déchets liquides dans la toundra, dans les milieux désertiques polaires par exemple, ou les diluer dans les cours d'eau de certaines plaines alluviales et de certains emplacements côtiers, ou encore les transporter par camion jusqu'à des emplacements centraux aménagés à cet effet.

1 LE PROJET D'ÉTUDE SUR LES BASSINS À BOUE DE RUTA

L'objectif principal du projet d'étude sur les bassins à boue de RUTA est de fournir des données environnementales et géotechniques reliées à la construction, à l'utilisation et à la restauration postérieure des bassins à boue dans les divers types de pergélisol et de terrains. Un deuxième objectif est l'évaluation d'autres méthodes d'élimination des déchets liquides de forage et, entre autres, de leur déversement direct dans la toundra. Enfin, l'objectif à long terme de l'étude est l'évaluation de l'efficacité du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales qui régit le forage des puits de pétrole et de gaz dans le pergélisol, ainsi que l'élimination des fluides de forage.

Le projet comporte quatre phases:

1. La première phase, qui est traitée dans ce rapport, a été entreprise au cours des étés de 1976 et de 1977. Il s'agissait d'un levé des emplacements de forage dans l'Arctique, datant de diverses années et situés dans des environnements de terrain et de pergélisol variés. Les objectifs étaient d'obtenir des renseignements sur le rendement de ces bassins à boue, d'exposer des cas de problèmes évidents en rapport avec ces bassins et d'identifier les endroits où un forage sans bassin à boue aurait été préférable.

2. La deuxième phase a été entreprise au cours de l'hiver de 1976-1977. Elle comportait l'installation d'appareils de mesure dans deux bassins à boue afin de contrôler les changements thermiques, géomorphiques et du pergélisol en rapport avec l'utilisation, la restauration et l'abandon ultérieur des bassins à boue au cours d'une période de trois ans. En octobre 1976, on a installé des appareils dans un bassin à boue au puits Bent Horn 1-01 de la Panartic Oils Ltd. dans l'île Cameron, et, en avril 1977, au puits Ogruknang M-31 de la Gulf Canada Ltd., dans les collines Caribou du delta du Mackenzie.

   Les points suivants étaient particulièrement intéressants: l'effet des fluides de bassin à boue sur les régimes thermiques du pergélisol, le gel *in situ*, s'il se produit, des liquides des bassins à boue ainsi que la durée de cette période, et la nature et l'étendue de toute activité thermokarstique qui pourrait en résulter.

3. Une troisième phase comprenait l'élaboration de modèles de simulation numérique montrant les effets thermiques des liquides de bassins à boue sur le pergélisol qui les entoure. Les modèles créés ont été comparés aux données obtenues dans les emplacements où avaient été installés les appareils de mesure.

4. La quatrième phase du projet comportait un examen de la toxicité que les déchets liquides de forage présentent pour les plantes. En janvier 1978, un déversement expérimental de fluides de bassins à boue a été effectué à l'emplacement Siku-21 de la Gulf, dans le delta du Mackenzie, à un endroit où avait été fait au cours de l'été précédent un levé détaillé de la végétation et du site. De plus, au cours de l'été 1977,

on a visité un certain nombre d'anciens emplacements de forage dans les îles de la région supérieure de l'Arctique et du delta du Mackenzie afin d'étudier et d'obtenir des données sur les répercussions de la fuite de fluides de forage sur les ensembles végétaux voisins des bassins à boue.

II. INTRODUCTION - PHASE I

Faisaient partie de l'équipe qui participait au projet d'étude sur les bassins à boue de RUTA, M. H.M. French, docteur ès sciences, du département de géographie et de planification régionale de l'Université d'Ottawa, chargé de la coordination du projet et des études sur le terrain, M. M.W. Smith, docteur ès sciences, du département de géographie de l'Université Carleton, chargé de la simulation informatique et des études sur le terrain et M. D. Smith, docteur ès sciences, du département de botanique et de génétique de l'Université de Guelph, chargé des questions biologiques et toxicologiques.

Un deuxième rapport de cette série décrit les programmes de contrôle thermique entrepris aux emplacements Bent Horn 1-01 et Gulf Ogruknang M-31. On doit y comparer les données recueillies sur le terrain avec celles amassées à partir d'une simulation informatique (phases 2 et 3). Dans un troisième rapport traitant de la phase 4, l'étendue de la toxicité des déchets liquides des bassins à boue pour la végétation sera décrite.

III. ÉTUDE SUR LES BASSINS À BOUE

Plus de 40 emplacements de forage en exploitation ou abandonnés ont été visités au cours de l'été de 1976. La plupart d'entre eux ont été examinés au sol. Les moyens logistiques accessibles ont déterminé le choix des emplacements. Bien que ceux-ci ne représentent qu'une petite fraction des puits creusés dans les T.N.-O., ils offrent une grande variété de conditions pédologiques et de pergélisol. A chaque emplacement, une évaluation générale des conditions géomorphiques, pédologiques et du pergélisol a été pratiquée, d'abord par l'observation des matériaux superficiels, de la profondeur du dégel, des glaces de fond, du degré d'humidité ainsi que des effets thermiques de toute couverture organique superficielle sur la température de la couche active et les profondeurs moyennes de dégel. Deuxièmement, l'état du bassin a été noté et on a fait des observations portant sur le degré de restauration, les glissements éventuels de terrain après la restauration et la fuite possible des déchets liquides de bassin à boue. Enfin, toute activité géomorphique reliée au bassin ou pouvant influer sur ce dernier a été constatée.

A certains emplacements, des cas ont été établis à l'aide des dossiers qui ont rapport aux permis d'utilisation des terres du MAINC, des rapports de travaux sur le terrain de N. Peterson (1976 a, b et c) et de documents de l'industrie à Calgary.

En 1977, l'étude sur les bassins à boue a été poursuivie par une visite à la Réserve nationale de pétrole n° 4 des États-Unis sur le versant nord de l'Alaska et par un nouvel examen des emplacements de forage dans les îles Banks et Cameron.

La liste des emplacements de forage visités en 1976 et en 1977 apparaît aux annexes I et II. Les sites sont indiqués aux figures 1, 2, 3 et 9.

1. Îles de l'Arctique de l'Ouest

Les îles de l'Arctique de l'Ouest présentent une gamme d'environnements étendue. On peut y voir aussi bien des basses terres de la toundra couvertes de végétation (par ex., le sud de l'île Banks) que des déserts polaires dénudés et arides comme ceux des îles Prince-Patrick ou Ellef Ringnes. Les zones de transition où les environnements de toundra et de déserts polaires s'entremêlent, se trouvent à des endroits tels que le nord de l'île Banks et le sud de l'île Melville. En outre, il existe de petites zones de toundra relativement luxuriante, soit des "oasis" de l'Arctique, à l'intérieur du désert polaire. Ces oasis sont souvent à l'image de la géologie ou de la topographie locale. Le sud-ouest de l'île Cameron (par ex. Bent Horn) et certaines parties de l'île Bathurst (par ex. l'inlet Bracebridge) illustrent cette situation.

On a tenté de tenir compte de ces différents milieux.

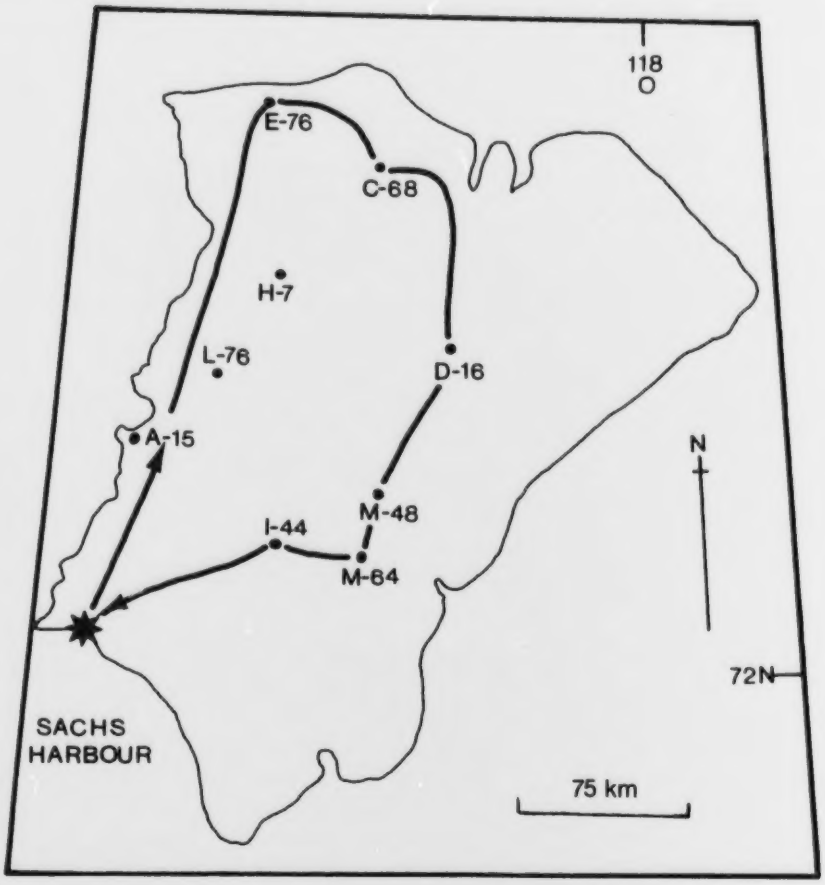

Fig. 1 Relevés faits dans l'île Banks, 8-10 juillet 1976

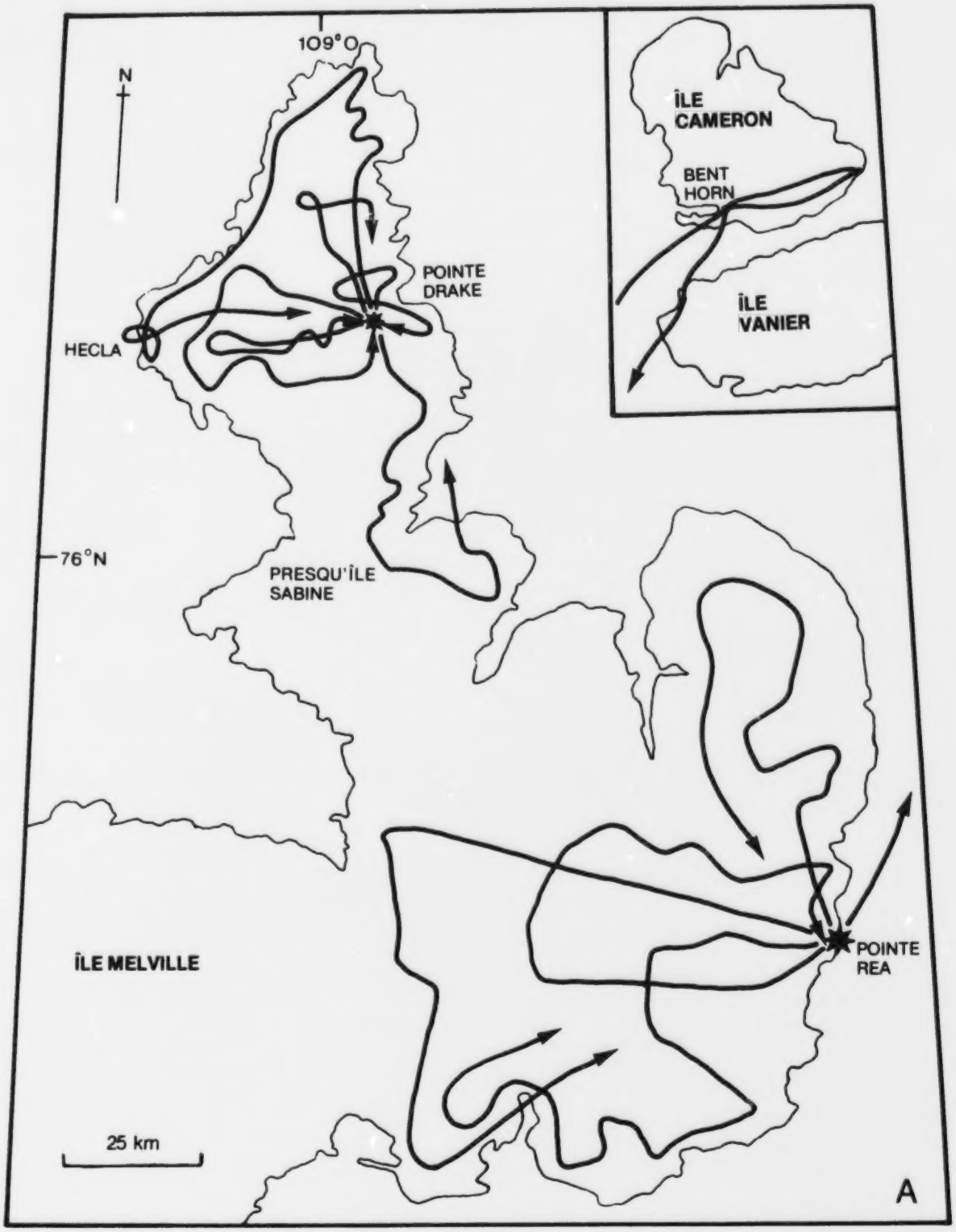

Fig. 2 Relevés faits dans l'île Melville et les régions adjacentes de l'Extrême-Arctique, 4-11 août 1976.
A - Est de l'île Melville et de la presqu'île Sabine.

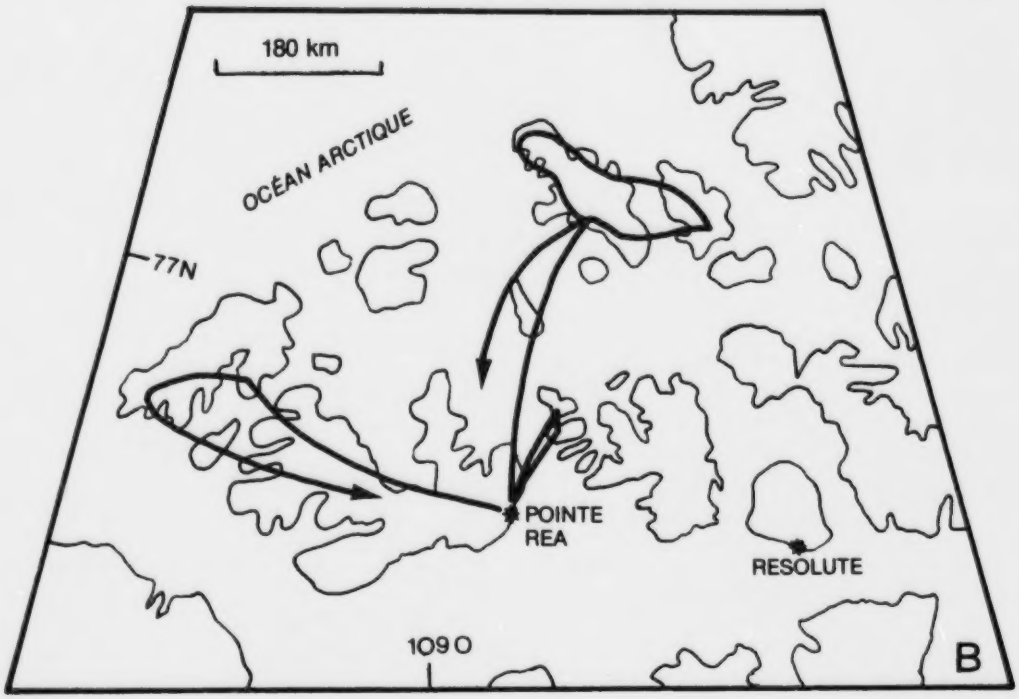

Fig.2(b) Relevés faits dans l'île Melville et les régions adjacentes de l'Extrême-Arctique, 4-11 août 1976. B - Autres îles de l'Extrême-Arctique

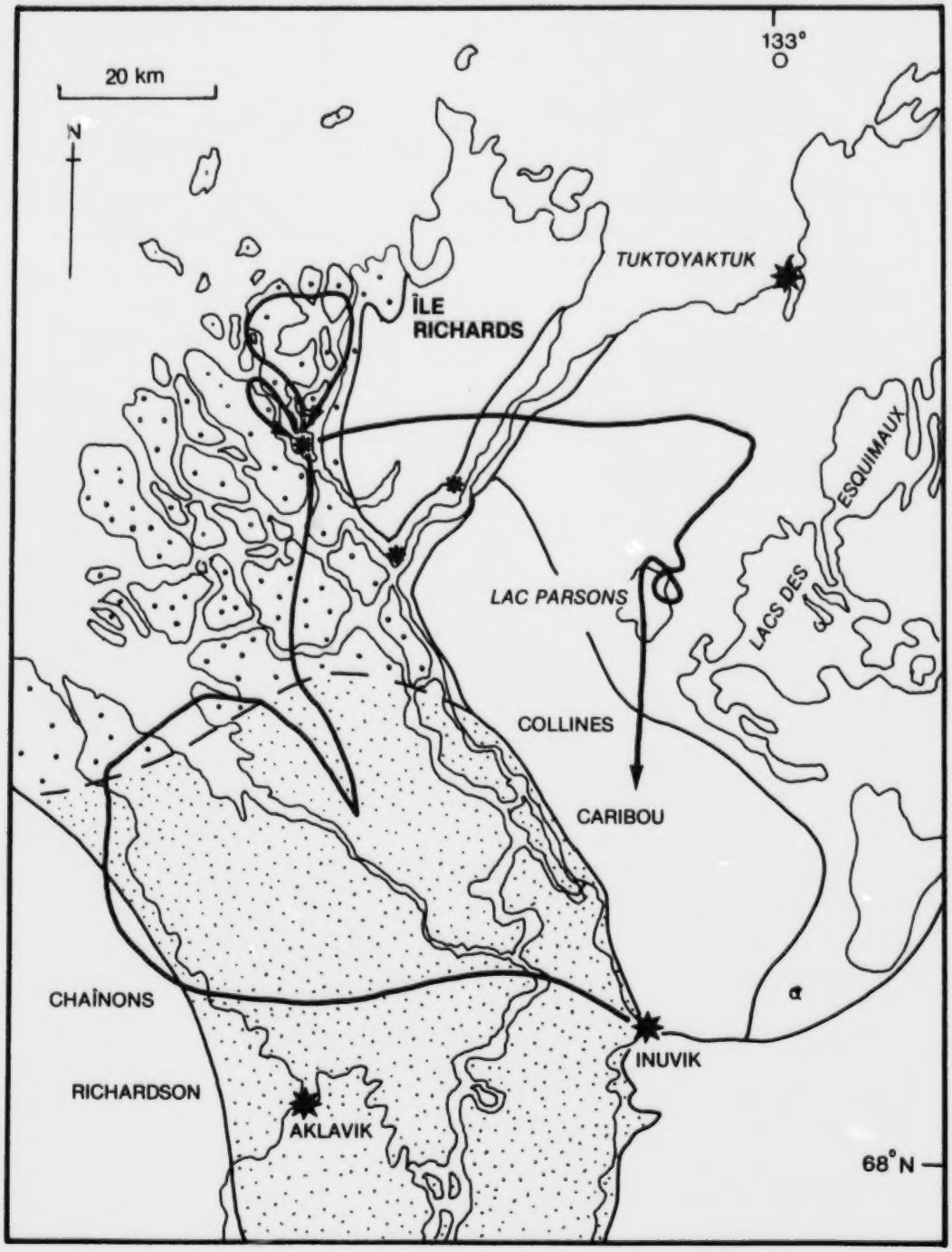

Fig. 3 Relevés faits dans le delta du Mackenzie, 7-11 septembre 1976.

(i) Île Banks

Six emplacements ont été visités, dont quatre avaient été examinés au cours de l'année précédente. Aucun d'eux n'était des puits de pétrole ou de gaz exploitables et peu d'entre eux dépassaient 10 000 pi de profondeur.

Panartic Elf Bar Harbour E-76

L'emplacement est situé à l'extrémité nord-ouest de la plaine de Beaufort, une surface plate et non caractérisée, formée à partir de sable et de graviers de la fin de l'ère tertiaire. Les petites différences topographiques sont importantes pour la détermination des caractéristiques de végétation et d'humidité du sol. Il existe probablement des voies souterraines d'infiltration qui suivent les légères variations de perméabilité du sable et du gravier. L'interaction de ces facteurs aboutit à la formation de grandes dépressions presque indistinctes, recouvertes d'une couverture à peu près ininterrompue de mousse, de lichens et d'herbes de la toundra humide. Ces zones sont séparées par d'autres où la sécheresse prédomine et qui ont rapport à de légères modifications topographiques ou à la variabilité des matériaux de surface. Les zones caractéristiques de ce type sont complètement dépourvues de végétation et présentent des polygones de boue et des fissures de dessiccation. Des Dryas et des saxifrages colonisent parfois ces terres dénudées graveleuses.

L'emplacement du puits était sis dans l'un des secteurs plus humides et couverts de végétation de la plaine de Beaufort. Afin de tenter de minimiser les dommages, toute la couche organique superficielle avait été enlevée du site et entassée en vue de la restauration. Le bassin à boue montrait des signes d'un glissement survenu après la restauration (figure 4 a) et d'une inhibition d'eau. Étant donné que le puits avait été creusé au cours de l'hiver précédent et que l'emplacement avait été abandonné seulement trois mois avant la visite, le glissement se poursuivait encore. Il est probable que la faille reflétait une faible tension effective et une faible tension de cisaillement suite à la fonte des neiges mêlées aux matériaux de remplissage du bassin, ainsi qu'à l'infiltration de l'eau dans ce dernier à partir des zones adjacentes.

Panarctic Castel Bay C-68

Ce puits a été foré au cours de l'hiver de 1975 et sa description apparaît dans un rapport précédent (French, 1976 b).

La principale préoccupation exprimée après la visite de 1975 était la possibilité que le ravinement érode le bassin, étant donné que l'emplacement du puits était situé au pied d'une pente ravinée d'où partaient plusieurs cônes d'éboulis. L'inspection de 1976 a montré que cette inquiétude était fondée. Le haut du rebord en pente du bassin à boue avait été érodé par un ruisseau qui coule de façon passagère au cours de la fonte printanière des neiges (figure 4b). Il est à prévoir qu'une érosion semblable aura lieu

chaque printemps, étant donné que le ravin, par où arrive l'eau, est de dimension appréciable et constitue ainsi un important collecteur de neige au cours de l'hiver.

Il semblerait qu'à cet endroit, le problème résulte du choix peu judicieux de l'emplacement du bassin à boue. Une inspection préliminaire du site au cours de l'été 1974 aurait été indiquée.

Elf Kusrhaak D-16

Par rapport aux autres puits creusés dans les basses terres du centre de l'Île Banks, Kusrhaak D-16 est un forage profond (plus de 12 000 pi) et les dimensions du bassin à boue, de même que le volume des déchets liquides, étaient probablement supérieurs à ceux des autres puits.

Auparavant, cet emplacement avait également été visité en 1975 (French, ouvrage cité). Les principaux problèmes environnementaux et géotechniques identifiés à cette époque étaient le tassement relativement faible du bassin à boue et la possibilité de l'affaissement et du ravinement du thermokarst, étant donné la pente de 2-4^{o} de l'emplacement et l'existence sous ce dernier d'un réseau bien développé de fissures polygonales dans les sables vaseux gelés. De plus, la présence d'une couverture végétale ne dépassant pas 40 p. 100 de la superficie avait un effet marqué sur la profondeur de la couche active. L'absence de végétation du terrain perturbé autour de la tour de forage et du bassin à boue peut être à l'origine de différences thermiques entre les terrains perturbé et naturel. Pour ces raisons, l'emplacement Kusrhaak D-16 est considéré comme l'un des emplacements les plus sensibles de l'Île Banks.

Des observations faites en 1976 (figure 4 c) indiquent que des changements significatifs se sont produits dans la morphologie du bassin à boue depuis 1975. Par exemple, une masse d'eau stagnante d'environ 50 m de long, de 10-15 m de large et d'environ 1 m de profondeur, s'était formée le long du rebord en pente du bassin à boue principal (figure 4 d). Selon toute probabilité, l'eau s'est accumulée à la suite d'un affaissement le long du rebord du bassin à boue parce que le terrain de couverture était plus mince à cet endroit et après l'infiltration de l'eau le long de la pente à travers la couche active.

En théorie, cette masse d'eau constitue un dissipateur thermique qui peut causer la dégradation thermique du terrain de couverture du bassin à boue.

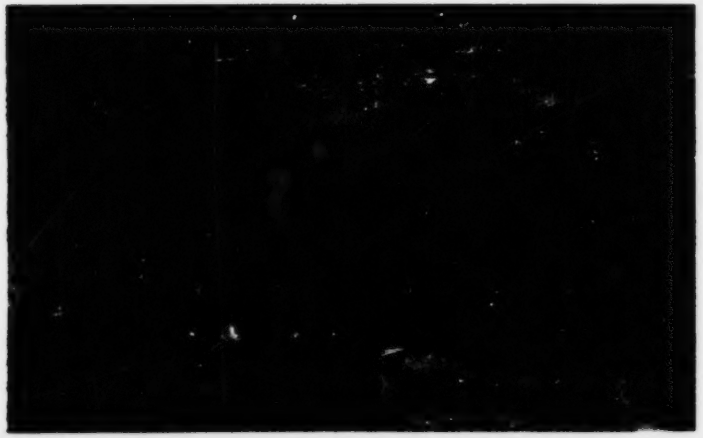

Fig.4(a) Effondrement après le rétablissement de la végétation à l'emplacement Panarctic Elf Bar Harbour E-76, au nord-ouest de l'île Banks, 8 juillet 1976.

Fig.4(b) Ravinement et érosion des matériaux de remplissage du bassin à boue de l'emplacement Castel Bay C-68, 9 juillet 1976.

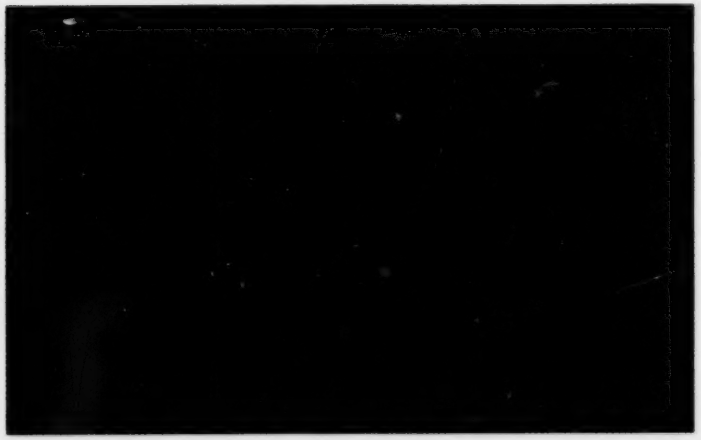

Fig.4(c) Vue aérienne de l'emplacement Elf Kusrhaak D-16, au centre-nord de l'île Banks, 10 juillet 1976.

Fig.4(d) Vue au sol d'une masse d'eau stagnante formée le long du côté ascendant du bassin à boue, emplacement Kusrhaak D-16, 10 juillet 1976.

Des observations des processus actifs thermokarstiques dans l'île Banks révèlent qu'il y a très peu de cas où la présence de masses d'eau de dimensions semblables pourraient mener à la formation rapide ou marquée de thermokarst. Une autre préoccupation exprimée en 1975 était la possibilité de ravinement le long de diverses fissures de gel qui sont situées sous l'emplacement, comme celui qui s'est produit aux sites Deminex Orksut I-44 sur la Grande rivière (French, 1976 b, ouvrage cité) et N-10 de la Gulf, au lac Parsons, dans le delta du Mackenzie. Un tel ravinement n'est pas survenu à l'emplacement Kusrhaak D-16 et il semble improbable qu'il puisse se produire un jour.

Des échantillons de tension de cisaillement montrent des valeurs plus grandes dans le terrain semi-perturbé adjacent à la tour de forage et d'autres beaucoup plus basses dans les matériaux de remplissage du bassin à boue. Cette situation découle sans doute du remplissage d'hiver, alors que des matériaux gelés comportant des quantités appréciables de neige, avaient été utilisés. Toutefois, le glissement qui a été observé le long du rebord en pente du bassin à boue en 1975 (French 1975 c) s'était stabilisé.

En résumé, les problèmes de l'emplacement Kusrhaak D-16 sont reliés au remplissage du bassin à boue. Lors de cette opération pratiquée à la fin de l'hiver de 1974-1975, on s'est efforcé de tenir compte du tassement au dégel en plaçant une couche superflue de matériaux le long de l'axe central du bassin à boue. Des considérations ultérieures laissent croire que ce matériel supplémentaire aurait dû être placé sur le rebord en pente du bassin, où le terrain de couverture était le plus mince.

Deminex Orksut I-44

L'emplacement a été visité le 9 juillet 1976 et le 17 août 1977 dans le cadre du programme de formation des inspecteurs de l'utilisation des terres du MAINC. L'histoire du site et la nature du thermokarst causé par les activités humaines ont antérieurement fait l'objet d'études. (French, 1976 b).

En juillet 1976, seuls le site de la piste d'atterrissage pour les bimoteurs (Twin Otters) et le terrain perturbé à la suite du remplissage du puisard des habitations ont été visités. Le réseau à peu près polygonal de ravines peu profondes, observé en 1975, et qui semblait indiquer une fonte se produisant de préférence le long des arêtes des coins de glace sous-jacents, avait évolué en un modèle de drainage bien défini dont les eaux s'écoulaient vers le bas de la pente, en direction du puits (figure 5 a). Le microrelief des monticules de la zone perturbée de la ballastière atteignait maintenant jusqu'à 2 m de relief relatif et il continuait à descendre. On a noté la présence d'étangs d'eau stagnante dans quelques dépressions.

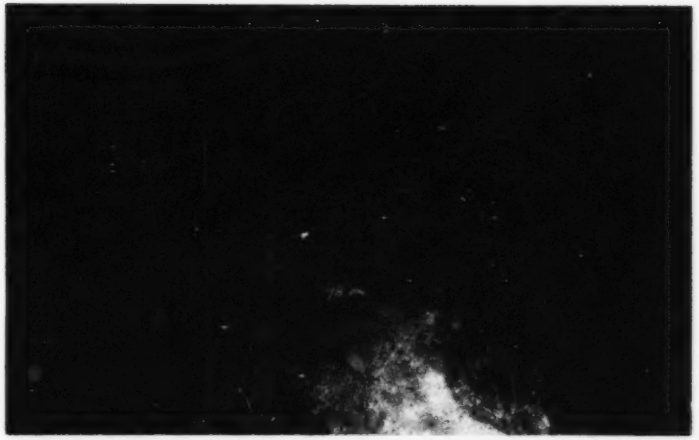

Fig.5(a) Vue aérienne d'un système de rigoles polygonal raviné en formation sur le site d'une ballastière, emplacement Deminex Orksut I-44, dans le sud de l'île Banks, 10 juillet 1976.

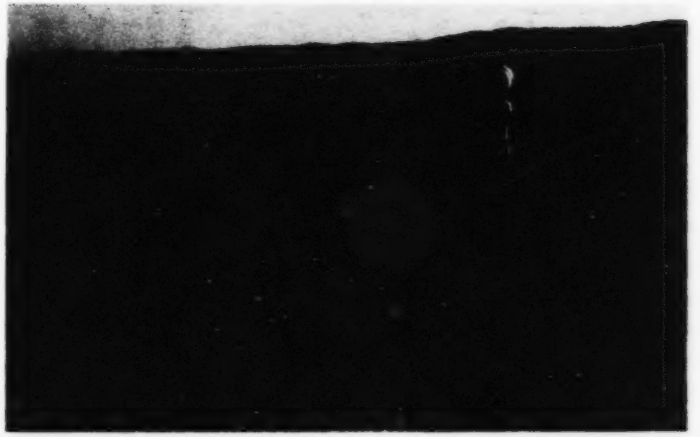

Fig.5(b) Topographie typique de thermokarst à l'emplacement Orksut I-44, 16 août 1977.

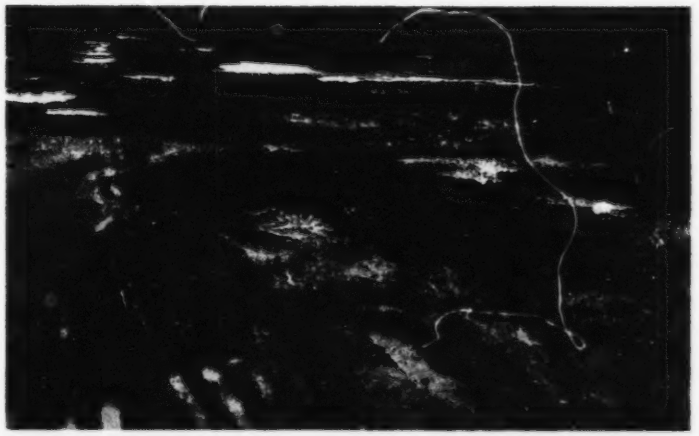

Fig.5(c) Vue aérienne oblique de l'emplacement Drake D-68, dans l'est de l'île Melville, 7 août 1976.

Fig.5(d) Vue aérienne de l'emplacement Drake B-44, presqu'île Sabine, île Melville, 7 août 1976.

Des mesures des températures de la couche active et des profondeurs du dégel ont montré un grand écart entre les résultats dans le terrain thermokarstique **en monticule** (tableau 1). Des profondeurs de dégel dépassant 95 cm pouvaient être mesurées sous les monticules tandis que des profondeurs inférieures à 50 cm ont été enregistrées sous les dépressions et les masses d'eau stagnante . Ce phénomène semble typique de la topographie thermokarstique en évolution active (French, ouvrage cité) puisqu'on a déjà observé une relation entre ces températures apparemment inhabituelles et la profondeur de dégel en 1975 (c'est-à-dire l'observation dans le terrain thermokarstique d'une température plus basse en surface, mais plus élevée en profondeur, que les températures du terrain adjacent non perturbé).

La piste d'atterrissage estivale présentait peu de signes de thermokarst malgré le tassement en surface et de la perturbation de la végétation. Les profondeurs de dégel étaient d'environ 15 cm de plus dans le terrain perturbé.

En 1977, la topographie de la ballastière était peu modifiée par rapport à 1976 (figure 5 b). Toutefois, la piste d'atterrissage s'était affaissée en un certain nombre d'endroits et les conditions d'atterrissage étaient à peine acceptables pour les appareils à voilure fixe. Des dépressions atteignant parfois 1 m s'étaient produites à plusieurs endroits et toute la piste avait une apparence raboteuse et ondulée. Les profondeurs de dégel mesurées sous la piste étaient beaucoup plus grandes que dans le terrain adjacent. De même, la piste montrait des signes d'humidité qui n'étaient pas apparents dans le terrain non perturbé, phénomène déjà observé ailleurs (Price, Bliss et Svoboda, 1974).

Il est probable que les températures estivales anormalement élevées qu'a connu l'Île Banks en 1977 avaient causé cet affaissement récent. Au moment de la visite, par exemple, une température de l'air de + 17° C a été enregistrée. En général, l'Arctique de l'Ouest a connu des températures anormalement chaudes au cours de l'été 1977 et cela a probablement été à l'origine d'une activité thermokarstique régionale.

Les problèmes du terrain à l'emplacement Orksut 1-44 ne sont pas reliés au bassin à boue, mais au développement de thermokarst dans les ballastières et aux travaux d'été autour du site, en août 1973. Ce qui s'est produit depuis lors à cet emplacement indique qu'il existe une relation évidente entre la rapidité de la progression thermokarstique et la variabilité climatique annuelle.

(ii) Île Melville

Panartic Drake Point, E-78, D-68, N-67, L-67, K-67

A l'exception de K-67, il s'agissait dans tous les cas de puits de gaz rebouchés et cette région doit être considérée comme une zone possible de production.

Tous ces puits sont situés à l'intérieur d'une zone très sensible de terres basses de la toundra contenant de l'argile schisteuse meuble et relativement riche en glace, de la formation Christopher. Au moment de la visite, en août 1976, le bassin à boue de l'emplacement D-68 s'était partiellement affaissé (figure 5 c) et des coins de glace apparaissaient dans le terrain adjacent. La perturbation du terrain dans les environs était considérable et avait probablement été causée par l'explosion survenue en 1970 et par les efforts pour la maîtriser. Il n'y a plus de signes du monticule de glace qui s'était formé alors (Barnett, 1973).

Il est important de noter que des cinq puits de forage inspectés, un seul était profond (D-68, 17 766 pi). C'est là qu'un glissement de terrain a été observé au bassin à boue. Le volume considérable de boues de forage requises pour le puits D-68 et le grand bassin à boue qui y est relié, pourraient expliquer cet accident.

De plus, l'activité au puits D-68 a commencé en juin 1973 et s'est terminée en mars 1974 couvrant ainsi un été. Tous les autres puits ont été terminés au cours de l'hiver pendant lequel ils ont été forés.

Panarctic B-44

Il s'agit d'un puits de gaz fermé temporairement qui a été creusé jusqu'à 4 500 pi au cours de l'automne de 1972. Il est sis dans une prairie humide de la toundra, à environ 200 m du bord de la mer.

Les problèmes au puits B-44 ne se rapportent pas au remplissage du bassin ni aux perturbations du terrain, mais aux caractéristiques du site. Bien que la concession soit située sur une plate-forme côtière légèrement inclinée, l'emplacement de forage est au bas d'une pente où passe un ruisseau qui coule de façon passagère et qui prend sa source à 300 m à l'intérieur des terres, dans un terrain plus élevé (figure 5 d). Le bassin à boue est généralement érodé par ce cours d'eau, ce qui pourrait éventuellement provoquer l'écoulement de fluides de forage. Une inspection préliminaire estivale aurait permis de prévoir ce problème et d'effectuer le forage du puits à environ 100 m au sud.

Panarctic Hecla F-62, Panarctic Hecla I-69 et Panarctic Homestead Hecla J-60

Ces trois puits sont à 10 km de distance les uns des autres et situés très près de la mer, sur une plate-forme côtière mal drainée qui présente une couverture ininterrompue de mousses, de lichens et d'herbes. Les emplacements de forage F-62 et I-69 sont des puits de gaz rebouchés et il s'agit d'une zone possible de production.

La perturbation du terrain est évidente aux trois endroits de même que dans les environs. Tous les bassins à boue laissaient voir des affaissements plus ou moins importants.

Le puits Hecla J-60 est le plus vieux et aussi le plus profond, ayant été creusé jusqu'à une profondeur de 11 800 pi pendant l'été 1970. Deux pistes d'atterrissage estivales sont encore visibles, en plus de signes de perturbation de la toundra qui revêtent la forme de traces de véhicules, de digues de ruisseaux et de bassins à boue. Une inspection aérienne a permis de voir trois bassins reliés à ce puits. L'un deux, situé à l'intérieur des terres (figure 6 a), s'est affaissé au centre et est présentement érodé par un ruisseau qui coule vers la mer en passant au milieu du bassin. Le deuxième, sis plus près de la mer, s'est affaissé au centre et un petit étang s'est formé à cet endroit. L'affaissement du troisème bassin, qui est le plus proche de la mer, a pris la forme d'un demi-cercle. Le bassin est drainé par son côté moins élevé, vers la mer. Il est à peu près certain que le remplissage de ces bassins a eu lieu avant que les fluides ne soient suffisamment gelés. De plus, à cause de la fonte de la glace contenue dans les matériaux de remplissage au cours des travaux d'été, une diminution de ces derniers matériaux s'est produite. Enfin, le premier bassin, creusé avant la date de forage par battage au câble, était situé dans le cours d'un ruisseau.

Les puits Hecla F-62 et I-69 sont sis sur le rivage. Au puits F-62, le bassin à boue de la tour de forage s'est enfoncé et se déverse dans la mer tandis que le puisard des cuisines se trouve sous le niveau de la mer. Au moment de son forage en novembre 1972, il semblerait que ce puits était en réalité au large des côtes, probablement dans 3 ou 4 pi d'eau. Au puits Hecla I-69, le bassin est partiellement recouvert d'eau et l'extrémité qui est du côté de la mer a été complètement érodée (figure 6 b). Plusieurs affaissements en demi-cercle dont le drainage se fait dans la mer, sont survenus dans la moitié du bassin qui se trouve du côté du littoral. Étant donné la faible profondeur de ces deux puits (moins de 5 000 pi chacun) destinés à peu près exclusivement à des travaux de forage d'hiver (ils ont été achevés en moins de deux mois), les bassins ne sont pas grands. Cependant, au cours du forage du puits I-69, des déchets liquides se sont échappés du bassin; celui-ci étant trop petit pour contenir tous les effluents.

L'emplacement de ces deux bassins à boue sur le rivage pose des problèmes à long terme. D'abord, l'affaissement des bassins et la proximité de l'eau de mer révèlent que ni l'un ni l'autre ne sont gelés. Deuxièmement, même s'ils étaient gelés initialement, les effets thermiques de l'eau de mer peuvent provoquer le dégel des bassins et l'échappement éventuel des déchets liquides qui y sont contenus. Troisièmement, la poussée et la force érosive de la glace, qui sont particulièrement efficaces dans la zone située près

Fig.6(a) Vue aérienne d'un bassin à boue effondré à Hecla J-60, presqu'île Sabine, dans l'est de l'île Melville, 9 août 1976.

Fig.6(b) Vue aérienne du bassin à boue à l'emplacement Hecla I-69, presqu'île Sabine, 9 août 1976.

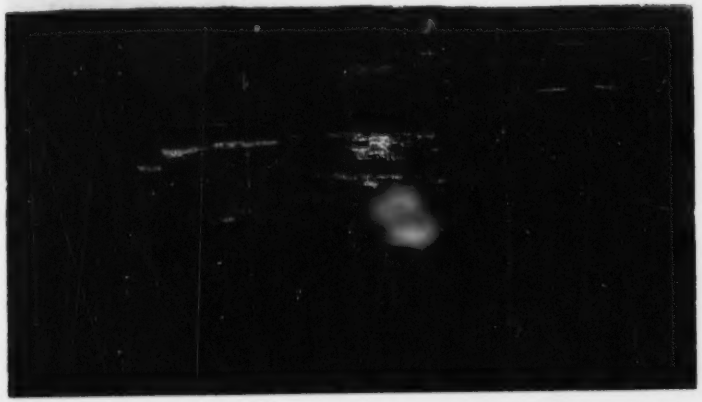

Fig.6(c) Vue aérienne de l'emplacement Panarctic Chads Creek B-64, presqu'île Sabine, 10 août 1976.

Fig.6(d) Vue aérienne de l'emplacement Panarctic Bent Horn A-02, 14 août 1976, révélant la perturbation du terrain.

du littoral (McDonald et Lewis, 1973) sont capables de fissurer les parois du bassin. En outre, au puits I-69, on peut observer des crêtes de poussées de glace, immédiatement à l'ouest, ce qui montre l'importance de ce processus sur des pointes de terre exposées comme Hecla. Quatrièmement, les effets à long terme de l'érosion côtière qui, bien que limités à une courte période chaque année, laissent croire à une érosion éventuelle du bassin à boue.

Panartic Chads Creek B-64

Ce puits, situé à environ 20 km à l'intérieur des terres à partir des emplacements côtiers de Hecla, a été foré entre décembre 1974 et juin 1975. Au moment de l'inspection en août 1976, on a observé des déchets liquides de forage à la surface. La zone qui entoure le site du puits avait été perturbée (figure 6 c).

L'histoire de ce puits illustre la complexité du problème des bassins à boue et la quasi-impossibilité de retenir les déchets liquides à certains puits d'exploration profonds. Quelques-uns des problèmes auraient pu être minimisés si la société avait pris rapidement les mesures qui s'imposaient.

Un puits d'une profondeur de 12 000 pi était prévu et un bassin de dimensions jugées suffisantes pour retenir les déchets liquides a été mis en place en décembre 1974. A la fin du forage en juin 1975, la profondeur du puits dépassait 16 000 pi, étant passée de 12 000 à 14 000 pi au cours des travaux et finalement, à 16 000 pi. De plus, des problèmes qui ont surgi pendant l'opération ont prolongé la période de forage. En février 1975, les matériaux du bassin initial étaient à 1 pi du niveau de débordement, et le mois suivant, cet accident se produisit. Les rapports d'essais biologiques sur la toxicité des liquides, préparés par la Beak Consultants et le MAINC, étaient contradictoires. A la fin de mai, deux nouveaux bassins ont été creusés à la dynamite et les déchets liquides congelés du bassin qui avaient été répandus dans la toundra ont commencé à fondre. En juin, les deux nouveaux bassins étaient remplis et leurs déchets liquides ont commencé à se déverser dans la toundra. Ces problèmes ont été aggravés à l'hiver précoce de 1975-1976 par le remplissage des bassins alors que les déchets liquides étaient insuffisamment gelés. C'est ainsi que ces derniers ont été pressés jusqu'à la surface et se sont mélangés aux terrains de couverture.

Il est évident que l'opération du puits Chads Creek n'a pas été très satisfaisante pour la compagnie et a été la cause de relations tendues entre la société et les fonctionnaires du MAINC pendant un certain temps. Du point de vue de l'utilisation des terres, on peut tirer plusieurs leçons de l'expérience de Chads Creek.

D'abord, lors d'un forage d'exploration en profondeur, il est possible que la formation géologique soit plus profonde que prévue ou différente, ou que des problèmes qui ont surgi prolongent la période de forage. Dans les deux cas, les dimensions d'un bassin à boue conçu pour les fluides d'un trou d'une profondeur donnée se révèlent inadéquates. Pour retenir complètement les fluides, il est alors nécessaire de construire des bassins supplémentaires ou de prévoir le transport par camion des liquides à d'autres emplacements.

Deuxièmement, si des bassins supplémentaires sont mis en place, il en résultera une plus grande perturbation du terrain et des dépenses additionnelles pour la société qui procédera à ces travaux. On devrait viser à minimiser ces deux inconvénients.

Troisièmement, la compagnie était en défaut en ce qu'elle n'a pas tenté de prévoir ou de prévenir le débordement du premier bassin, situation qui n'a été révélée qu'au moment d'une inspection des fonctionnaires du MAINC et en ce que le remplissage des bassins a été entrepris en 1975, trop tôt après le gel. La négligence complète des règlements sur l'utilisation des terres et de l'environnement, ne peut passer inaperçu.

En résumé, les problèmes posés par le bassin à boue de Chads Creek mettent en lumière le mode de remplissage et les difficultés de retenir complètement des déchets liquides d'un puits d'exploration profond. Ces problèmes ont été aggravés par les méthodes d'exploitation de la compagnie. L'expérience de Chads Creek permet également de mettre l'accent sur le rôle difficile mais essentiel des inspecteurs du MAINC dans l'application sur place des règlements d'utilisation des terres.

(iii) Île Cameron

C'est dans la région de Bent Horn, au sud-ouest de l'Île Cameron, que la Panarctic Oils Ltd. a découvert des gisements de pétrole. Jusqu'à présent, 9 puits ont été forés au total, dont trois sont en production (N-72, F-72A, A-02). Cette région deviendra probablement une zone de production.

Les puits qu'on exploite actuellement sont situés au fond de l'inlet Bent Horn dans des terres basses de la toundra légèrement inclinées et recouvertes d'un bon tapis végétal. Cette région n'est pas typique de la plupart des secteurs de l'Île Cameron, qui consiste en un terrain désertique semi-polaire moyennement découpé et dont la végétation est clairsemée.

Un certain nombre de facteurs influent sur les conditions du terrain et du pergélisol à Bent Horn. D'abord la roche de fond sous-jacente est un grès consolidé (formation Trold Fiord), relativement résistant à l'érosion. Deuxièmement, au cours de la construction des bassins à boue à l'emplacement I-01 en novembre

1976, des sections de roche de fond ont été exposées. Un réseau bien développé de coins de glace, séparés d'environ 5-10 m les uns des autres, à 2-3 m de profondeur, et d'une largeur comprise entre 1 et 2 m près de la surface, pénètre la roche de fond gelée. Les dimensions de ce réseau polygonal sont de beaucoup inférieures à celles des réseaux que l'on trouve dans les matériaux meubles (par ex. dans le delta du Mackenzie) et s'expliquent probablement par les propriétés différentes de contraction thermique du grès. Troisièmement, le bassin de l'emplacement I-01 a mis en évidence une mince couche de matériaux superficiels recouvrant la roche de fond. Des graviers grossiers de plage et/ou des fragments de roche de fond forment un revêtement; toute la région est composée d'une succession légèrement inclinée de matériaux de plage soulevée.

Quatrièmement, une épaisse couche organique faite principalement de mousses s'étend sur ces matériaux superficiels. Cette couverture organique qui se trouve directement sur les graviers de plage, peut être enlevée à la bêche. L'épaisseur caractéristique du tapis organique varie de 5 à 15 cm. Il constitue un excellent isolant pour le pergélisol sous-jacent et contribue à l'existence d'une couche active exceptionnellement mince dans les terres basses de Bent Horn. C'est ainsi qu'au cours de l'été 1977, qui fut particulièrement chaud, la profondeur maximale de dégel enregistrée en août dépassait rarement 12 cm. Une conséquence de cette mince couche active est que le sommet des coins de glace se situe à 15 cm ou moins de la surface du sol. A la suite de la circulation des véhicules et de la perturbation de la couche organique qu'elle entraîne, ces coins de glace peuvent être facilement exposés. Cette situation serait le début d'une érosion par ravinement. Enfin, dans la région de Bent Horn, l'inclinaison moyenne des pentes est basse et on trouve très fréquemment des angles inférieurs à 4^{o}. Cette condition naturelle, renforcée par l'absence de dépôts superficiels meubles, limite donc la formation de ravines.

Panarctic Bent Horn A-02

Ce puits est situé à environ 400m à l'intérieur des terres à partir du fond de l'inlet Bent Horn, dans un secteur de toundra légèrement incliné et recouvert d'un bon tapis végétal. Il a été foré au cours du printemps et de l'été de 1976 jusqu'à une profondeur de près de 10 000 pi.

Quand l'emplacement a été inspecté en août 1976, la perturbation du terrain s'étendait à la plus grande partie de la concession (figure 6 d). A la suite du déplacement des véhicules, une grande zone de la couverture organique superficielle avait été perturbée. A certains endroits, des coins de glace étaient exposés dans les traces des véhicules et le ravinement le long des coins de glace dans les parois du bassin à boue adjacentes à la tour de forage menaçait de miner le terrain sous la plate-forme de la tour de forage. Autour de l'emplacement, on recouvrait le sol d'un revêtement isolant et on installait des passerelles pour faciliter

les déplacements. De plus, l'accès à la concession n'était possible qu'en hélicoptère.

La restauration s'est effectuée au cours de l'hiver de 1976-1977. Le bassin à boue a été recouvert et tout l'emplacement a été nivelé. Le tapis organique superficiel, bien que perturbé et détruit pendant l'été, était demeuré sur les lieux et il a été réparti sur la concession. Les ravines ont été comblées et enfouies durant la restauration.

Lors d'une nouvelle visite à l'emplacement en août 1977, peu de ravinement ou de thermokarst importants s'étaient formés. Le revêtement de matériaux organiques remis en place, agissant comme une couverture d'humus, avait limité le dégel au cours de l'été. Ce fait est d'autant plus significatif que l'été de 1977 était exceptionnellement chaud. On doit donc conclure que la présence de conditions topographiques et végétales uniques dans la zone de Bent Horn (c'est-à-dire les faibles inclinaisons topographiques, les excellentes propriétés thermiques de la couche organique, l'absence de matériaux meubles, etc.) a empêché que le terrain ne soit gravement endommagé à long terme.

Toutefois, l'importance de la perturbation du terrain en 1976 doit être évaluée, de même que la pertinence de travaux d'été dans des basses terres de la toundra recouvertes d'un bon tapis végétal comme celles dont il a été question. L'absence d'agrégats pour la construction des plates-formes et des routes dans les Îles Cameron et Melville est un facteur dont on doit tenir compte lors de l'évalutation des répercussions d'un forage d'été. Si on pouvait utiliser de tels agrégats, les dommages pourraient être considérablement réduits.

En résumé, les problèmes qui ont surgi à l'emplacement Bent Horn A-02 ne sont pas reliés au bassin à boue mais plutôt à la perturbation du terrain qui découle des activités estivales. Il est clair que les forages d'été dans des secteurs de la région supérieure de l'Arctique recouverts d'un bon tapis végétal ne doivent être autorisés que si on exerce un bon contrôle de la circulation des véhicules. A Bent Horn, cependant, de premiers indices laissent croire à la réussite de la restauration. A l'emplacement A-02, le principal problème, constitué par une grande zone de toundra perturbée, noircie et morte, est surtout d'ordre esthétique.

Panarctic Bent Horn I-01

Ce puits, achevé au cours de la saison de forage de l'hiver 1976-1977, est situé sur un terrain essentiellement semblable à celui sur lequel se trouve l'emplacement du puits A-02. Des instruments de mesure ont été installés dans le bassin, dans le cadre du programme d'étude sur les bassins à boue de RUTA (voir French et Smith, Études des bassins à boue n° 2, RUTA, sous presse).

Fig.7(a) Vue du bassin à boue principal à l'emplacement Bent Horn I-01, 10 août 1977, environ 5 mois après le recouvrement du bassin.

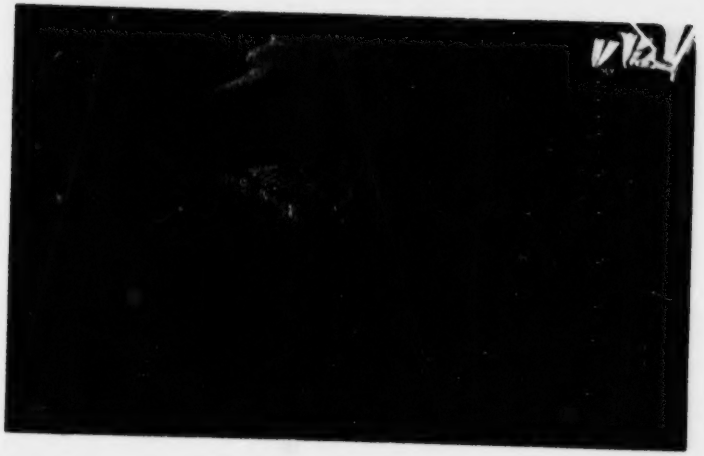

Fig.7(b) Vue aérienne du bassin à boue restauré à l'emplacement Elf Dyer Bay I-59, île Prince-Patrick, 16-17 août 1976.

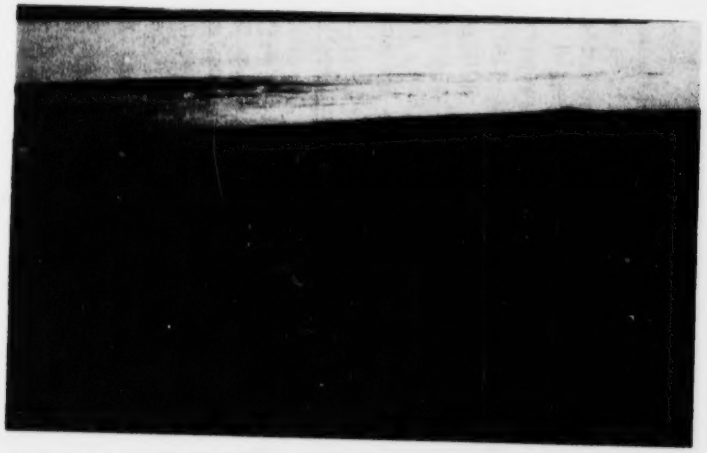

Fig.7(c) Vue aérienne de l'emplacement Shell Niglintgak M-19, 10 septembre 1976.

Fig.7(d) Vue aérienne de l'emplacement Imperial Taglu F-43, dans le delta du Mackenzie, 9 septembre 1976.

Contrairement au cas de l'emplacement A-02, le bassin a causé des problèmes à ce puits. Il est plus facile d'expliquer ces problèmes par la géologie complexe de la région de Bent Horn.

L'apparition de failles dans les formations dévoniennes de récifs calcaires dans la région de Bent Horn a eu pour résultat la localisation du pétrole dans des petites poches plutôt que dans un seul réservoir bien défini. En se fondant principalement sur les résultats du puits Bent Horn A-02, situé à environ 2 km de distance, un puits d'extension d'une profondeur d'environ 10 000 pi était planifié au site I-01. Cependant, le forage n'a pas révélé les structures prévues et il a été poursuivi au-delà de 12 000 pi. Une déviation de la zone cible a ensuite nécessité un forage oblique jusqu'à une profondeur supplémentaire de 5 000 pi. Par conséquent, le puits I-01 était finalement beaucoup plus profond que le puits A-02 et le bassin initial est apparu tout à fait inadéquat pour retenir les fluides additionnels produits par le forage plus profond. Un deuxième bassin a été creusé à une certaine distance de la tour de forage et les déchets liquides gelés ont été retirés périodiquement du bassin principal et transportés dans celui qu'on venait de mettre en place. Le deuxième bassin à boue a été construit quand le premier fut rempli.

Le recouvrement des bassins à boue a eu lieu à la fin du printemps de 1977. Lors de l'inspection en août 1977, le premier bassin était rempli d'eau et les liquides de forage apparaissaient à la surface du bassin principal (figure 7 a). Selon toute probabilité, celui-ci était trop plein lors du remplissage et les déchets fluides congelés se sont mélangés aux matériaux de couverture. Le manque de gravier pour recouvrir le bassin fut un autre problème important.

L'étendue de la perturbation sur le terrain autour de l'emplacement I-01, sauf celle due à la construction des deux bassins, n'est pas excessive et est inférieure à celle de l'emplacement A-02. Sans aucun doute, ce fait montre les avantages des forages hivernaux.

(iv) Île Ellef Ringnes; Panarctic et al Sirius K-28; Panarctic Mocklin Point D-23

Ces emplacements ont été visités en août 1976. Sirius K-28 est situé sur un interfluve peu profond sis sur un terrain plat non accidenté, au-dessus de sables et de graviers appartenant à la formation de Beaufort. La végétation est à peu près absente, sauf certaines plantes de fond isolées et il n'existe pas d'indices révélant la présence d'une forte proportion de glace dans les matériaux sous-jacents. Cette région est caractéristique du terrain d'un désert polaire qui s'est étendu sur les matériaux de la formation de Beaufort. A l'emplacement Mocklin Point D-23, le puits est situé sur une plaine plate alluviale en sable ou en sandre, formant une couverture désertique caillouteuse composée de gabbro, de quartzite et de grès.

Aux deux emplacements, les bassins à boue ne révèlent aucune anomalie. Il n'y a eu ni glissement ni affaissement des matériaux de couverture des bassins à boue, ni libération évidente de déchets liquides de forage. L'absence de problèmes en relation avec les bassins à ces deux emplacements est révélatrice parce que Sirius était un puits d'hiver, foré entre le mois de novembre 1973 et le mois de mars 1974, tandis que celui de Mocklin Point était un puits d'été foré au cours de l'été 1975. Dans le cas de Mocklin Point, le bassin avait été ouvert au cours de l'été et n'avait pas été refermé avant l'hiver 1975-76. Ces observations indiquent que dans les milieux arides des déserts polaires de la région supérieure de l'Arctique, où la végétation est très clairsemée, les effets des forages d'hiver et d'été sont à peu près identiques. En outre, dans ces bassins, l'absence à peu près totale de flore et de faune indique que le déversement de déchets liquides toxiques de forage n'est pas aussi grave que dans d'autres zones situées plus au sud. De même, l'absence relative de glace de fond, par comparaison à des secteurs de l'île Banks et du delta du Mackenzie, indique que les problèmes dûs à la construction des bassins à boue et au thermokarst ne sont pas très sérieux.

Île Amund Ringnes; Panarctic Amund Central Dome H-40; Panarctic Gulf West Amund 1-44

Ces emplacements ont été visités en août 1976. Ils ont été forés en hiver, H-40 en 1970-1971 et I-44, en 1971-1972. West Amund 1-44, est situé dans le lit d'un ruisseau peu profond qui, au moment de la visite, était sec. La région environnante était une zone alluviale proglaciaire ou une étendue de sandre. Aucun glissement, aucun affaissement, aucune fuite de liquides n'a été remarqué. Au chantier H-40, un certain glissement des parois du bassin avait eu lieu mais il n'avait pas été possible d'atterrir pour en déterminer les causes avec certitude.

Île Prince-Patrick; Elf Dyer Bay I-59, Elf Wilkie Point J-51

Ces deux emplacements ont été visités en août 1976. Leurs bassins à boue ne présentaient pas de problèmes (figure 7 b), car ces deux puits avaient été creusés pendant l'hiver, sur un terrain de sable et de gravier. Le puits I-59 était situé sur un terrain de la formation de Beaufort et le puits J-51, sur une formation de grès de Wilkie Point. Ces deux emplacements sont caractéristiques des régions désertiques polaires. Les températures mesurées dans la couche active de ces emplacements démontrent que les opérations de forage dans ces régions ne posent que peu de problèmes étant donné l'environnement et le terrain. Il y a peu de différence entre le terrain perturbé et le terrain non perturbé (tableau 2). En général, les observations notées aux îles Ellef Ringnes et Amund Ringnes confirment ces conclusions.

2. Delta du Mackenzie

Le delta du Mackenzie représente un environnement arctique unique. La limite de la végétation arborescente passe au sud de cette région qui compte un très grand nombre de lacs, d'étangs et de cours d'eau. La plus grande partie des sédiments sous-jacents est constituée de limon et de sables mêlés à de la glace d'origine récente. Cette région est d'un intérêt considérable sur le plan écologique et biologique et constitue un important territoire de piégeage et de pêche pour les habitants d'Aklavik et, à un degré moindre, pour ceux d'Inuvik et de Tuktoyaktuk.

Les températures d'été dans le delta du Mackenzie sont beaucoup plus élevées que celles des îles de l'Arctique de l'Ouest, avec des maxima en juillet dépassant parfois 20° C, surtout à l'intérieur. On peut donc y trouver des couches actives dont l'épaisseur peut dépasser 1,5 m dans des endroits sablonneux, bien drainés, à végétation clairsemée. De tels endroits sont toutefois rares, étant donné la présence assez généralisée au nord de la limite de la végétation arborescente d'une végétation relativement touffue constituée d'arbustes de la toundra. Au sud de cette même limite, on rencontre surtout de l'épinette noire, du bouleau, des aulnes et des saules. Cette couverture végétale, ainsi qu'un mauvais drainage, a pour résultat la présence de couches actives de faible profondeur de 30-60 cm environ. Les températures élevées pendant l'été, le rôle thermique important de la végétation et la nature des sédiments sous-jacents, riches en glace et non stabilisés font du delta du Mackenzie une région très sensible aux perturbations et à la formation de thermokarst. Des cartes décrivant la fragilité variable du terrain et la géologie superficielle de la région du delta située au nord de la limite de la végétation arborescente sont disponibles (Rampton, 1972, 1974; Eyk et Zoltai, 1975).

Le delta du Mackenzie peut être divisé en un certain nombre de régions et de sous-régions différentes d'après les conditions du terrain et du pergélisol. (Mackay, 1963). Dans cette étude, on distingue trois régions (figure 3).

(i) Le delta contemporain, ainsi subdivisé:

(a) le nord du chenal Reindeer, entre les chenaux de l'Est et du Milieu. Cette région est basse et mal drainée; sous la toundra, on trouve du limon alluvial riche en glace; cette région est sujette à des inondations annuelles;

(b) le sud de la limite de la végétation arborescente, entre les collines Caribou à l'est et les monts Richardson à l'ouest. Cette région compte de nombreux lacs que d'étroites lignes de partage séparent des réseaux sinueux de chenaux simples. La végétation de la forêt et de la toundra est caractéristique.

(ii) Le delta du Pléistocène, au nord et à l'est des collines Caribou, constitué d'un terrain légèrement ondulé et relativement bien drainé comportant de nombreux bassins thermokarstiques et des pingos; sous la couche de terrain on trouve du limon riche en glace, du sable et, à certains endroits, du gravier.

(iii) Les hautes terres, s'étendant sur le versant est des monts Richardson à l'ouest du delta et les collines Caribou, allant jusqu'au nord d'Inuvik, sur le côté est du delta. Ces deux régions font la transition entre la forêt et la toundra.

Chacun de ces milieux exige une évaluation particulière pour déterminer la fragilité du terrain et les modalités d'utilisation des terres.

(i) Delta contemporain

Shell Niglintgak B-19, M-19 et H-30

Tous ces puits sont situés sur les terres basses et plates de la plaine inondée du fleuve Mackenzie actuel.

A ces emplacements, la situation précaire propre aux bassins à boue est due au manque de matériaux de remplissage (figure 7 c). Cela s'explique par la forte proportion de glace présente dans le limon sous-jacent et la fonte en été entraînant ainsi une perte de volume. Les carences les plus évidentes ont été observées à Niglintgak M-19, puits foré entre la fin de l'été et le début de l'hiver (juin 1974-janvier 1975), et à Niglintgak H-30, où le bassin à boue est resté ouvert pendant l'été de 1973.

A chaque emplacement, le bassin restauré comporte une dépression peu profonde qui retient de l'eau à chaque printemps, alors que les eaux de crue se retirent. L'eau retenue peut capter la chaleur ambiante et faire fondre la couverture gelée. En outre, cette eau stagnante peut être polluée et constituer une menace pour la faune. Comme tous ces emplacements sont près d'un bras important du fleuve Mackenzie et qu'ils sont sujets aux inondations chaque année, il faudrait envisager le déversement direct des déchets dans ce chenal ou sur la toundra directement, comptant ainsi sur la dilution et les inondations printanières pour les disperser.

Imperial Taglu D-55, F-43

Les bassins à boue de la région de Taglu présentent les mêmes caractéristiques que ceux de la région de Niglintgak. Tout ceci est représenté à la figure 7 d, illustrant les puits Taglu D-55, et Taglu F-43.

A Taglu D-55, les rebords du bassin à boue se sont effondrés. Ce puits avait été foré entre avril et juillet 1972 et le bassin était resté ouvert pendant cet été-là. Il y avait donc eu dégel des matériaux de remplissage, et diminution du volume suivie probablement d'une dégradation et d'un élargissement du bassin. En dépit des grandes quantités de gravier placées sur le bassin,

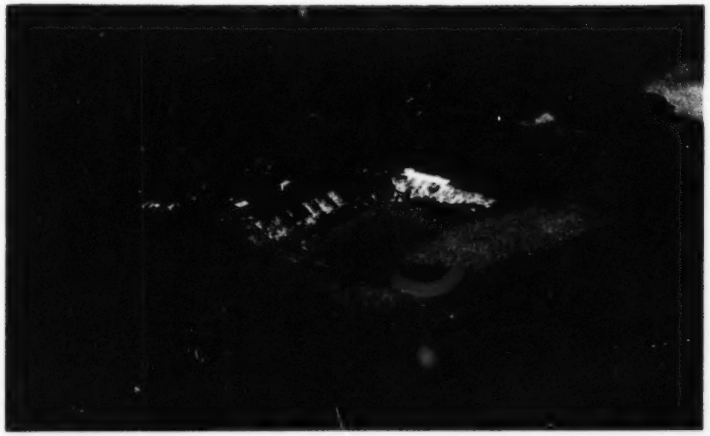

Fig.8(a) Vue aérienne de l'emplacement proposé de Tullugak, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976.

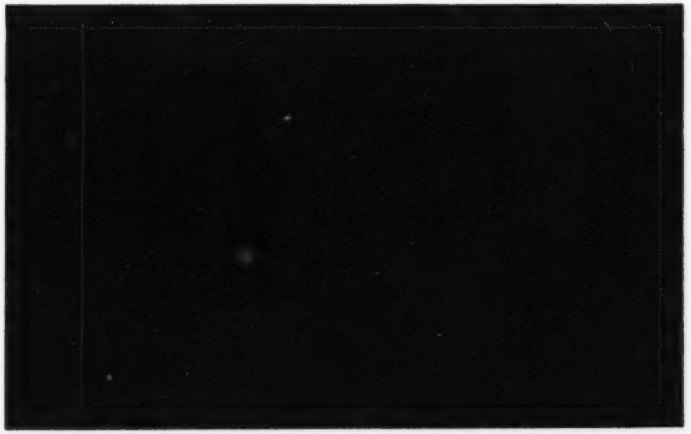

Fig.8(b) Vue aérienne de l'emplacement Gulf Parsons Lake N-10, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976.

Fig.8(c) Vue aérienne de l'emplacement Gulf Parsons Lake A-44, delta du Mackenzie, 10 septembre 1976.

Fig.8(d) Vue aérienne de l'emplacement Shell Beaverhouse Creek H-13, sur les pentes des hautes terres du côté ouest du delta du Mackenzie, 8 septembre 1976.

il y a eu affaissement le long des rebords là où la couverture de gravier était plus mince et là où les parois du bassin avaient probablement continué à dégeler au cours de l'année suivante.

Shell Tullugak K-31 (emplacement prévu)

Ce cas reflète certaines des difficultés d'exploitation de sites dans la plaine inondée du delta du Mackenzie. L'emplacement était situé dans une plaine basse au sol très imbibé d'eau, inondée par l'un des principaux chenaux du Mackenzie (figure 8a). En été, il était impossible de se déplacer sur ce type de sol. On a donc préparé cet emplacement pendant l'hiver de 1975-1976 pour le forage prévu au cours de l'hiver suivant. On a creusé un bassin à boue en mars 1976 et on l'a entouré d'une digue dont le centre était en blocs de glace. On a ensuite installé un revêtement en polyuréthane pour le protéger du dégel pendant l'été. Pour loger le personnel, on a également construit une plate-forme sur pilotis à environ 4 pi du sol, reliée par une passerelle à la plate-forme de forage.

L'inondation au printemps de 1976 a atteint un niveau supérieur à la normale et a complètement recouvert l'emplacement. La plate-forme de forage a même été revouverte de 4 pi d'eau à un moment et la hauteur de la digue s'est révélée insuffisante; ce qui n'a pu empêcher le remplissage du bassin par les eaux. En juillet, après la décrue, on a vidé le bassin à la pompe mais celui-ci avait déjà commencé à s'affaisser étant donné que le matériau isolant avait été déplacé. Il aurait donc fallu construire un nouveau bassin mais comme il ne pouvait être question de recommencer avant le milieu ou la fin de l'hiver, lorsque l'épaisseur de la glace permet le déplacement de machinerie lourde sur des routes de glace, il n'a pas été possible de terminer la construction des installations pendant la saison de forage de 1976-1977. La compagnie a donc décidé d'abandonner cet emplacement.

Le cas de Tullugak démontre clairement les risques que comportent les opérations dans la plaine inondée, et fait ressortir la courte période de temps dont dispose une compagnie pour entreprendre des travaux avec du matériel lourd. Dans ce cas, le terrain imbibé d'eau interdisait les travaux pendant l'été et le stockage sur place du matériel en attendant la saison froide était impensable à cause des inondations printanières. En outre, le déplacement la machinerie lourde sur les routes de glace est rarement possible avant novembre ou le début de décembre et il faut alors interrompre tous les travaux à la mi-avril pour devancer le dégel et la débâcle prochaine. En conclusion, des opérations de forage qui ailleurs demanderaient un seul hiver, peuvent en exiger deux dans ces régions de plaines inondées et le bassin devrait rester ouvert pendant au moins un été.

Dans de telles conditions, il serait peut-être préférable de forer sans bassin à boue pour résoudre une partie de ces difficultés dues à la logistique et au calendrier, étant donné que les liquides déversés à la surface seront de toute façon enlevés et dilués lors de la crue printanière.

(ii) Delta du Pléistocène

Contrairement au delta contemporain, le delta du Pléistocène est caractérisé par un terrain ondulé, parfois accidenté. On y trouve un grand nombre de lacs, de bassins de lacs drainés et des pingos. Cette région n'est pas inondée chaque année, son sous-sol est composé de limon, de sable, de gravier, et de glace se présentant très souvent sous la forme de blocs de plusieurs mètres d'épaisseur. La construction par conséquent des bassins à boue et le dégel posent des problèmes importants.

Région du lac Parsons

Cette région compte un certain nombre de puits de gaz refermés et pourrait devenir vraisemblablement un jour une zone de production.

Dans cette région, les problèmes reliés aux bassins à boue sont les suivants: (a) la forte proportion de glace contenue dans un grand nombre de matériaux sous-jacents mis à découvert dans les parois des bassins lorsque ce dernier est laissé sans couverture pendant l'été, serait à l'origine d'un important élargissement du bassin, (b) la topographie accidentée et la présence de nombreux lacs rendraient difficiles le choix de l'emplacement et le creusement de grands bassin à boue.

Gulf Parsons Lake N-10

Ce puits est situé sur un terrain en pente, entouré de lacs sur trois côtés (figure 8b). La région immédiatement adjacente au puits est une petite cuvette de terrain contenant des coins de glace. Une épaisse couche de tourbe et/ou de matières organiques s'étend le long de la pente jusqu'au lac, à l'est. Ce bassin a été construit en 1973. Dans les dossiers du MAINC, on trouve des indications relatives à un bassin à boue, installé en cet endroit, sur une pente sud-est de 2 à 4 p. 100.

En mai 1973, on a remarqué une fuite de déchets liquides sous une digue construite au coin inférieur sud-est du bassin, et qui s'écoulaient ensuite dans un lac voisin. On a constaté après analyse que plusieurs échantillons prélevés de ce liquide étaient toxiques. On a laissé le bassin ouvert pendant l'été. En juillet, on a noté à nouveau d'autres fuites provenant de ce même bassin, entraînant d'importantes ravines le long des coins de glace, en descendant vers le lac.

Il faudrait souligner au départ les petites dimensions du bassin original et les efforts faits par la compagnie pour l'agrandir plus tard. En effet, le terrain accidenté a empêché la construction du bassin à un endroit plat et les déchets liquides ont rapidement dépassé la hauteur verticale de 4 pi du côté le moins élevé, alors que le côté supérieur restait à sec. En outre, la forte proportion de glace contenue dans les sédiments sous-jacents, la possibilité

d'une érosion thermique, ainsi que l'instabilité du bassin, ont nécessité le choix d'un nouvel emplacement, éloigné des étendues d'eau. En avril 1973, quand on s'est rendu compte que le bassin était trop petit, la compagnie a repoussé sur le côté les matériaux, conservés pour le remplissage, de façon à former une digue dans le coin le moins élevé, au sud-est, ce qui agrandissait le bassin d'environ 50 pi. Toutefois, cette digue a été construite sur environ 2 à 3 pi de neige tombée pendant l'hiver. Lors du dégel, en mai, la fonte de la neige ouvrit une brèche sous la digue. Ce dégel a probablement été accéléré par la température des effluents de forage dans le bassin, température pouvant atteindre 90-120° F lors de leur déversement. Puis, en juillet, la fonte des coins de glace mis à découvert sur le côté du bassin a entraîné une autre fuite de fluides. Les dommages faits au terrain étaient considérables; selon des experts de l'industrie, des ravines de 2 à 3 m de profondeur descendant le long du bassin ont été creusées le long des coins de glace. On a pu arrêter les dégâts en mettant alors en place de grosses mottes de tourbe, en guise d'isolant.

Dans ces conditions, on pourrait bien soutenir que, compte tenu des conditions topographiques et du pergélisol en cet endroit, il eût été préférable de forer le puits Parsons N-10 sans creuser de bassin.

Lors de la visite en 1976, l'emplacement Parsons N-10 semblait être en meilleur état. Les ravines creusées par les fuites de fluides en 1973 s'étaient stabilisées et la repousse naturelle de la végétation progressait rapidement. Le bassin ne semblait pas présenter d'autre anomalie.

En bref, l'emplacement Parsons Lake N-10 démontre l'importance de l'étude des conditions topographiques et de l'inspection du pergélisol pour décider de l'opportunité d'un forage avec bassin à boue. Cette expérience met en évidence la nécessité d'envisager d'autres méthodes d'élimination et de retenue des déchets fluides de forage. Enfin, un programme préliminaire d'inspection et de vérification du terrain réalisé l'été précédant le creusage aurait permis de prévoir la nature des problèmes auxquels on a été confronté et ceux-ci auraient même pu être évités complètement.

Gulf Parsons Lake A-44

A l'emplacement Parsons Lake A-44 (figure 8c), les dossiers du MAINC indiquent que la moitié inférieure du bassin à boue a été creusée dans la glace massive. En outre, le forage s'est poursuivi pendant l'été 1976 et les parois du bassin se sont élargies considérablement à la suite de la fonte de la glace vers la fin de l'été. Lors de l'inspection en 1976, le bassin avait été recouvert d'un gros tertre de gravier d'environ 6 m de haut, et le programme de rétablissement de la végétation était déjà commencé. Il n'y avait aucun signe évident d'affaissement, d'effondrement

ou de fuite. Toutefois, les dossiers du MAINC indiquent qu'on a dû faire face à de grandes difficultés lors du remplissage du bassin en février 1976. En effet, pendant cette opération, le bassin n'a pu retenir les déchets liquides poussés à la surface, et ces derniers ont été retenus à un niveau plus élevé que le sol environnant (effet "volcan"). Il a été décidé de laisser ces déchets liquides s'écouler par gravité à l'extérieur du bassin, et de les laisser congeler dans un espace limité par une digue construite spécialement à cet effet. Après leur congélation, les déchets liquides ont été transportés par camion dans d'autres bassins voisins. On a ensuite transporté d'importantes quantités de gravier sur place pour achever le remplissage de ce bassin.

Les raisons de la rupture dans le bassin A-44 peuvent s'expliquer par les grandes dimensions de l'ensemble et non par ce qui allait à l'encontre de la congélation complète qui aurait dû survenir pendant l'hiver suivant.

Gulf Parsons Lake D-20

Il y a eu un autre cas de libération de déchets liquides de forage après le rétablissement du site à un emplacement voisin, Parsons Lake D-20, qui avait été foré en 1975-1976 et restauré en 1976-1977. Le bassin avait été construit au sommet d'une pente descendant vers le sud, jusqu'à Parsons Lake. On avait placé une importante couverture de gravier au-dessus du bassin. A la fin du premier été suivant la restauration, en septembre 1977, on a observé des déchets liquides qui s'infiltraient à travers le sol, à environ 30 m de l'extrémité sud-ouest du bassin, et qui s'écoulaient vers le lac Parsons. Les dossiers du MAINC indiquent qu'on a observé une lentille de glace de 4 po d'épaisseur mise à découvert dans les parois du bassin pendant le creusage. Il semble donc qu'une percée à travers cette lentille ait permis aux liquides de s'échapper, poussés par la pression exercée par le poids de la couverture de gravier. Lors de la vérification, en mars 1978, on a noté la présence d'un petit monticule de glace d'environ 1 m de haut et de 3 m de diamètre qui s'était formé à l'endroit de la fuite.

Imperial Wagnark G-12

Ce puits a été foré pendant l'été de 1973. D'après les dossiers du MAINC, le bassin a été creusé dans du gravier et du sable riches en glace. Comme cela se passait en été, on peut supposer que le bassin a été élargi lors de la fonte de la glace au cours de l'été et que la compagnie a dû donc manquer de matériaux de remplissage l'hiver suivant. Elle a donc fait transporter du gravier sur le site et mis en place une épaisse couverture de gravier.

Lors de l'inspection en 1976, on n'a pas observé de signes d'affaissements ou d'effondrement de la couverture de gravier et les mouvements du terrain adjacent étaient peu importants.

Toutefois, le choix de l'emplacement de ce puits n'avait pas été très judicieux: celui-ci avait été creusé dans un terrain peu profond, humide où se trouvaient des coins de glace et des matières organiques tourbeuses. Si ce terrain n'avait pas été tellement perturbé, c'est grâce à la route d'accès graveleuse et aux couvertures protectrices sous la tour de forage et sous les installations provisoires du personnel. En bref, l'utilisation d'importantes quantités de gravier semble avoir joué un certain rôle en minimisant quelques problèmes possibles.

(iii) Hautes terres

Shell Beaverhouse Creek H-13

Ce puits a été foré pendant l'hiver 1970-1971. Il est situé sur une terre élevée en pente douce (3-5°) recouverte de toundra, au pied des monts Richardson. Le bassin s'est effondré du côté de la pente (figure 8d). En outre, on avait choisi comme emplacement un terrain peu profond, humide utilisé comme voie d'infiltration. Toutefois, le rétablissement de la végétation autour du site était en bonne voie et, sauf pour ce qui est du bassin, le retour à l'état naturel de l'emplacement semblait réussi . L'échec du remplissage du bassin à boue semble dû en partie à la mauvaise technique de recouvrement utilisée au moment de la restauration à la fin de l'hiver 1970-1971; on n'a pas placé assez de matériaux de remplissage près du bassin, du côté de la pente. Un autre facteur probablement plus important est que l'infiltration de l'eau s'écoulant le long de la pente au cours de l'été a probablement amené la saturation de la couverture, diminuant la résistance au cisaillement, et par conséquent entraînant la rupture de la couverture.

3. Versant nord de l'Alaska

Le versant nord de l'Alaska est le prolongement naturel vers l'ouest des basses terres recouvertes de toundra arctique de la plaine côtière du Yukon et du delta du Mackenzie. Toutefois, il n'est pas possible de comparer les conditions de cette région à celles de la toundra canadienne puisque on n'y trouve pas de toundra arctique et de terrain désertique polaire.

Il y a deux principales régions d'exploitation gazière et pétrolière:

(a) La région de la baie Prudhoe où se trouve l'un des plus importants gisement pétrolifère découvert dans l'Arctique au cours de dernières années et

(b) La Réserve n° 4 de la United States National Petroleum (NPR-4), située à l'ouest de la rivière Colville et au sud de la pointe Barrow.

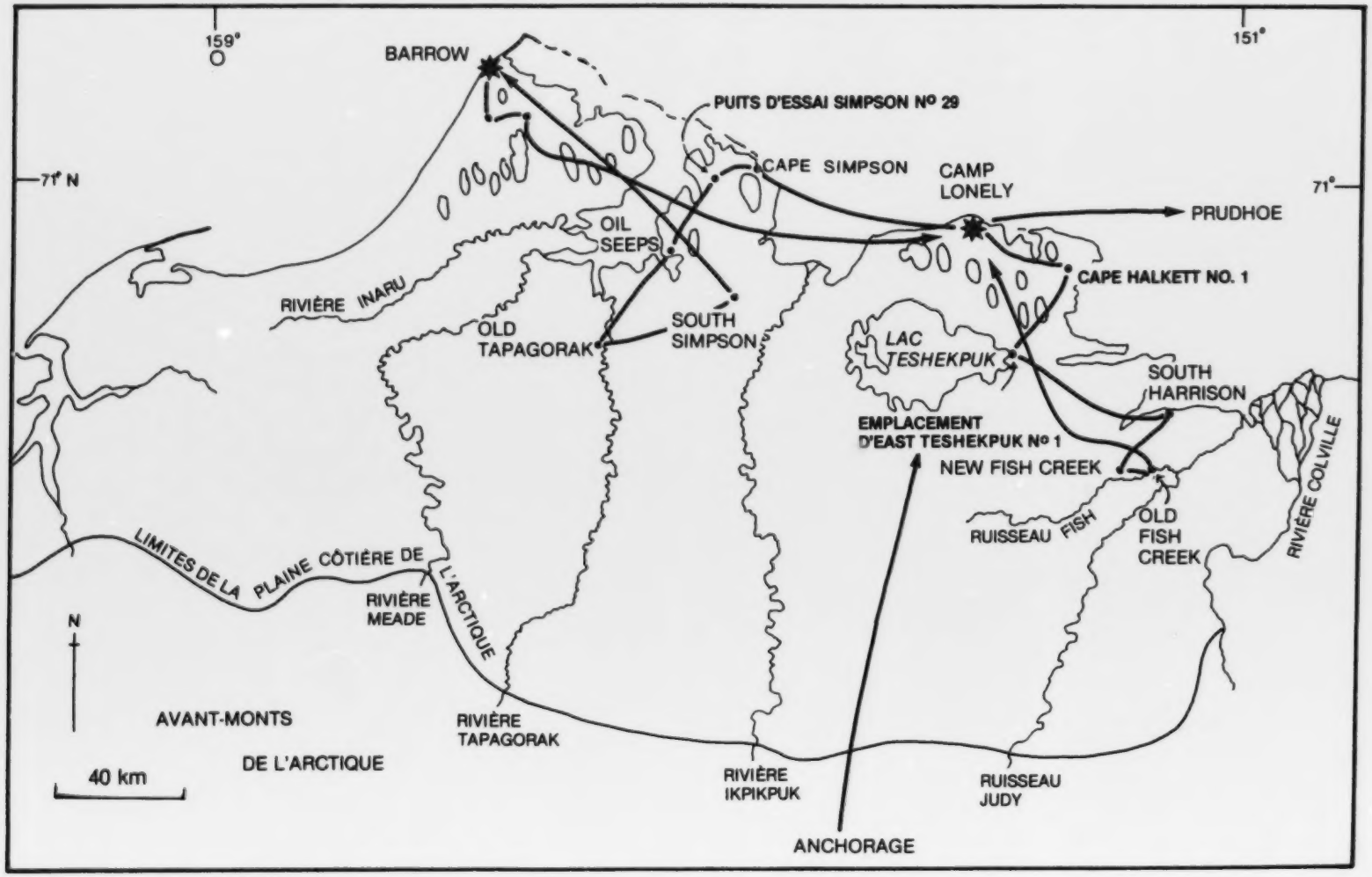

Fig. 9 Relevés faits dans la NPR-4 en Alaska, 28-30 juin 1977.

Dans cette section du rapport, on trouvera les observations notées pendant une visite à la NPR-4 en juin 1977. L'emplacement de la NPR-4 et celui des endroits visités à ce moment-là sont représentés à la figure 9 et dans l'annexe II.

(i) Objectifs

Les objectifs de la visite étaient les suivants: (1) examiner les conditions du terrain et les progrès du rétablissement de la végétation près des vieux puits forés sans bassins à boue à la fin des années quarante et au début des années cinquante, quand la Réserve était administrée par la Marine et (2) visiter les puits plus récents forés par la Husky Oil (NPR) Operations Ltd. en vertu d'un contrat passé avec la United States Geological Survey.

La pertinence de ces premières expériences en Alaska pour le projet des bassins à boue relevant du programme RUTA est manifeste puisque de tels emplacements peuvent nous donner un aperçu sur les répercussions environnementales et la rapidité du rétablissement de la nature près de puits forés soit sans bassins à boue soit avec libération des déchets liquides. En outre, cette occasion d'examiner les techniques actuelles de forage américaines nous permettait de les comparer aux méthodes canadiennes.

On trouvera dans Reed (1958) un compte rendu des premières opérations de forage à la NPR-4, de 1944 à 1953. Récemment, un rapport à jour très complet sur les répercussions environnementales des forages récents à la NPR-4 a été rendu public (Marine des É.-U., 1977).

En 1977, des études sur le pergélisol et le terrain, destinées à expliquer les perturbations subies par d'anciens chantiers de forage et leur retour à l'état naturel, ont été entreprises sous la direction de M. J. Brown, du Cold Regions Research and Engineering Laboratories (CRREL), de l'Armée des É.-U., Hanover, New Hampshire (Brown, 1977).

(ii) Puits anciens, NPR-4

L'un des plus anciens puits forés dans la Réserve, le puits expérimental Simpson n° 29 (figure 10a) a été achevé en 1949, et n'avait pas de bassin à boue. Lors de la visite de 1977, on a constaté que de grandes quantités de boue de forage inutilisées étaient restées sur le site, ainsi que des débris provenant de l'ancienne tour de forage et des pilotis de bois utilisés lors de l'exploitation. En général, on a observé le même degré de retour à l'état naturel et de nettoyage dans les autres emplacements anciens qui ont été visités, entre autres, le puits expérimental Simpson n° 1, à Old Tapagoruk et à Old Fish Creek.

Fig.10(a) Vue aérienne du puits d'essai Simpson n° 29, U.S. National Petroleum Reserve (NPR-4), Alaska, montrant la vieille plate-forme de la tour de forage et des boues de forage de rebut, 28 juin 1977.

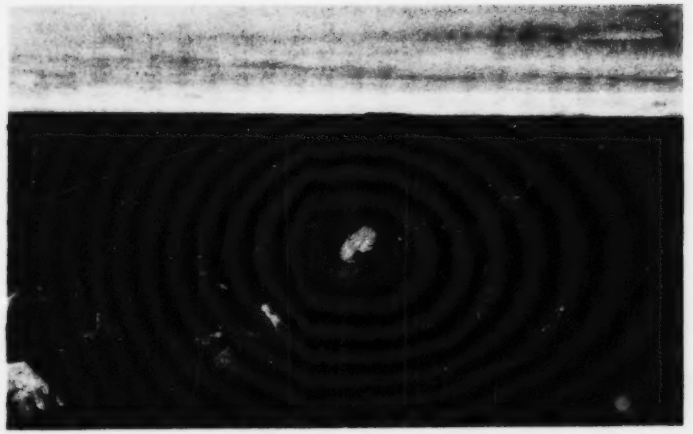

Fig. 10(b) Débris à l'emplacement d'Old Fish Creek, U.S. National Petroleum Reserve (NPR-4), Alaska, 30 juin 1977.

Fig.10(c) Vue aérienne de l'emplacement Husky Oils (NPR) Operations Ltd., South Simpson NPR-4 foré en 1976-1977, 30 juin 1977.

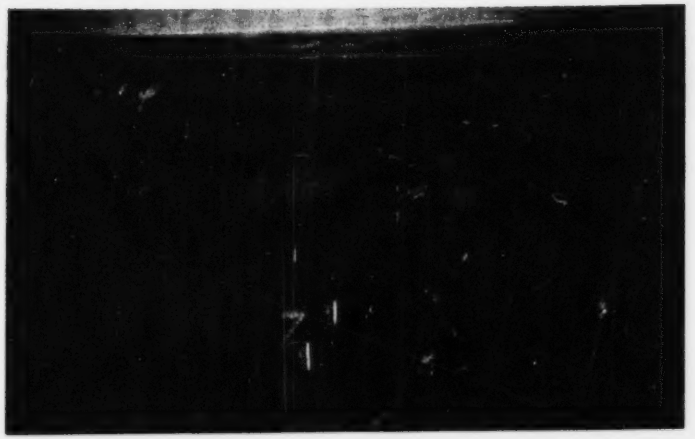

Fig. 10(d) Vue aérienne d'opérations de forage des puits à Prudhoe Bay, Alaska. On utilise de grandes plates-formes en gravier et un bassin à boue communal, 30 juin 1977.

Le site du puits Old Fish Creek, puits foré pendant l'été de 1949, est probablement celui des trois en plus mauvaise condition quant aux perturbations de terrain et au rétablissement naturel. On a remarqué d'importants affaissements thermokarstiques le long des pistes tracées par les vénicules et dans leurs alentours. On y trouve également des débris de toutes sortes jonchant le terrain comme des pilctis, des passerelles et des fûts d'essence (figure 10b). La Husky Oils ébauche actuellement un programme de nettoyage dans la Réserve. Le CREEL a commencé des études sur le rétablissement de la végétation et sur le thermokarst de la région d'Old Fish Creek (Brown, 1977).

Une évaluation globale de l'état de ces emplacements permet de supposer que l'absence de bassins à boue et que le déversement direct des boues de forage dans la toundra n'a pas été à l'origine de dommages environnementaux évidents. La croissance de la végétation dans les zones adjacentes à la vieille tour de forage est parfois plus abondante que dans des régions voisines non perturbées. On trouve surtout des plantes du type Calamagrostis et Poa dans les aires touchées par les travaux. Si l'on exclut les problèmes d'ordre esthétique ou ceux relatifs à la perturbation du terrain et aux débris, on peut conclure que le forage de ces premiers puits sans bassin à boue n'a pas entraîné de trop grand dégâts, et même la restauration du site naturel est remarquablement bien réussie. En outre, la présence de voies de drainage en chapelet et des réservoirs thermokarstiques dans la toundra adjacente, ainsi que la formation de tranchées le long de la piste des véhicules, laisse supposer que le creusage de bassins à boue dans ce terrain riche en glace aurait entraîné de graves problèmes de fonte pendant l'été.

Il y a plusieurs différences entre ces opérations de forage effectuées en Alaska à cette période-là et celles qui se pratiquent aujourd'hui au Canada. Par exemple, étant donné que ces premiers puits dépassaient rarement une profondeur de 4 000 pi, on n'éprouvait pas le besoin d'utiliser de grands volumes de fluides de forage, ni d'y ajouter des métaux lourds pour contrebalancer les fortes pressions des profondeurs. Il est probable que les fluides de forage utilisés étaient des boues simples à base d'amidon. Ainsi, l'absence de bassin à boue n'était pas due à l'inefficacité de cette technique, mais plutôt à des conditions de forage différentes. Enfin, les volumes des fluides recueillis ne justifiaient probablement pas les coûts de la construction d'un bassin à boue. Ces différentes observations indiquent que la vitesse de rétablissement de la nature remarquée sur les anciens emplacements n'est peut-être pas valable pour la prévision des conditions de rétablissement de la nature dans les emplacements canadiens au cas où il serait décidé de ne plus creuser de bassins à boue, lors d'opérations de forage au Canada.

(iii) Puits actuels, NPR-4

Des puits sont actuellement en voie de forage à NPR-4 et à Prudhoe Bay. Dans toutes les opérations actuelles on utilise maintenant des bassins à boue (figures 10c et d). Toutefois, selon les normes canadiennes, ce sont de petits bassins. Par exemple, au puits Husky South Harrison, foré en 1976 à une profondeur de 12 000 pi le bassin à boue mesure 100 pi par 150 pi, et un peu plus de 6 pi de profondeur.

Selon les ingénieurs de la Husky, on utilise des bassins à boue dans les forages actuels parce que les puits sont de grande ou moyenne profondeur et que le volume des fluides retirés est considérable. Le principe de la retenue totale, bien que généralement accepté, n'est pas le facteur le plus important: on regarde plutôt la présence du bassin comme une mesure de sécurité en cas d'explosion (il permet de stocker les fluides excédentaires en cas de complications). On ne considère pas la perte de fluides comme un problème en soi; on ne fait mention de problèmes relatifs à un bassin à boue qu'à un seul emplacement, au lac Teschepuk. A cet endroit, une petite quantité de fluides s'est infiltrée à travers la digue et s'est déversée dans le lac Teschepuk.

Aujourd'hui, on entreprend ordinairement les forages dans des régions planes et mal drainées de la toundra, où l'on trouve une abondance de coins de glace et de lacs thermokarstiques. Pour minimiser les perturbations de terrain, on utilise d'importantes quantités de gravier et on restreint les opérations à une toute petite surface. Cette technique est possible parce que contrairement à une bonne partie de l'Arctique canadien, l'Alaska a l'avantage de posséder d'abondantes quantités de gravier.

On n'a pas examiné d'emplacement récent dont le rétablissement à l'état naturel était terminé. Selon des représentants de la Husky on recouvre les bassins à boue en hiver comme en été, mais de préférence en été. Dans certains cas, on pousse dans le bassin les matériaux utilisés pour la plate-forme de la tour de forage. On ne tente pas, ou on ne tente que très rarement, de former un dôme avec ces matériaux de remblayage. On préfère souvent le sable au gravier pour la construction de la plate-forme pour plusieurs raisons, entre autres, (a) le vent peut lui redonner plus rapidement une forme "naturelle" et (b) pour le rétablissement de la végétation le sable est préférable au gravier qui laisse passer l'eau trop rapidement. Les sables d'origine fluviale ou éolienne (c.-à-d. provenant de dunes) sont transportés à l'emplacement des puits pendant l'hiver.

(iv) Commentaires sur l'expérience en Alaska

L'évaluation des observations sur les forages de l'Alaska a permis de tirer les conclusions suivantes:

(1) En dépit de l'absence de bassins à boue, le forage des anciens puits de la NPR-4 ne semble pas avoir eu de répercussions sur la végétation environnante. Vingt-cinq ans plus tard, le rétablissement de la végétation est assez avancé et, dans certains cas, la repousse est plus abondante que sur les terrains alentour non perturbés.

(2) Toutefois, il est possible que l'étude de ces anciens puits de l'Alaska ne nous permette pas de prévoir ce qui arriverait dans les emplacements canadiens si l'on négligeait de creuser des bassins à boue. En effet, les conditions de forage des puits modernes au Canada sont différentes car (i) ces puits sont souvent plus profonds, ce qui entraîne de plus grands volumes de fluide et (ii) les fluides de forage sont d'une composition chimique plus complexe.

(3) Les bassins à boue construits pour les puits de grande ou moyenne profondeur sur le versant nord de l'Alaska sont, semble-t-il, beaucoup plus petits que ceux qu'on a creusés pour des puits identiques au Canada. La plupart des bassins ont été construits au-dessus du sol et les déchets liquides sont retenus par une digue.

(4) Le succès relatif des forages récents en Alaska, quant au retour à l'état naturel des sites et aux perturbations du terrain, repose sur deux facteurs décisifs: (i) la présence de ballastières facilement accessibles utilisées lors de la construction des plates-formes de forages et du recouvrement des bassins à boue (ii) la profondeur relativement faible d'un grand nombre de puits de l'Alaska et le type de sous-sol relativement simple, ont indiqué que les difficultés d'ordre technique et/ou les prolongements des périodes de forage, ne sont pas fréquents.

(5) Si l'on se fonde sur la tendance actuelle à effectuer des sondages exploratoires plus profonds dans la NPR-4, on peut prévoir que les problèmes relatifs aux bassins à boue en Alaska pourraient devenir plus sérieux à l'avenir.

IV CONCLUSION

Généralités

1. On pense que les emplacements du nord du Canada visités en 1976 et en 1977 constituent un échantillon représentatif des puits forés au nord de la limite de la végétation arborescente quant à leur ancienneté, leur emplacement et leurs conditions d'exploitation.

2. Les conditions de l'environnement présentent des variations importantes au nord de la limite de la végétation arborescente. Il faut établir une distinction entre (a) la toundra des basses terres de l'Arctique (par ex. le delta du Mackenzie), (b) la toundra arctique (par ex. l'île Banks, le sud-ouest de l'île Cameron) et (c) les régions polaires désertiques (par ex. l'île Prince-Patrick). On y trouve des différences imtéressantes relatives à la durée, à l'importance du dégel d'été, à la couverture de

végétation, aux conditions de la glace au sol, à la géologie du sous-sol (socle et roche superficielle), ainsi qu'aux conditions d'accessibilité aux ballastières.

3. Certaines régions offrent des conditions naturelles difficiles ou dangereuses, comme certaines parties du delta du MacKenzie contemporain inondées chaque année et les terrains sous lesquels se trouvent des schistes de Christopher, sujets aussi à des glissements. En outre, quelques régions sont d'une importance cruciale quant à la vie des plantes, la répartition et les déplacements d'espèces animales.

4. Les conditions imposées par les Permis d'utilisation des terres doivent tenir compte de ces différentes conditions environnementales. Il faut évaluer les conditions de chaque emplacement dans son contexte régional et l'expertise à un emplacement donné doit considérer l'éventualité du forage d'autres puits dans le voisinage.

Conclusions particulières

5. De 25 à 30 p. 100 des emplacements de puits visités ont présenté des problèmes plus ou moins importants directement ou indirectement reliés aux bassins à boue et/ou à la retenue ou à la fuite des déchets liquides de forage.

6. Il n'a pas été possible de déterminer si ces problèmes particuliers avaient diminué ou augmenté pendant la période 1970 à 1977. Toutefois, compte tenu de l'attention accrue des inspecteurs chargés de contrôler l'utilisation des terres et de celle des compagnies pétrolières depuis quelques années, il peut y avoir eu une diminution de ces difficultés pendant cette période. Les conditions générales de l'emplacement, la date du forage et le type des opérations de forage ont un effet beaucoup plus important que l'âge du puits dans la détermination des problèmes posés par les bassins à boue.

7. Au tableau 3, on présente une analyse des problèmes relatifs aux bassins à boue. La plupart se rattachent à l'un des trois types suivants: type A - problèmes de fuites au cours du forage; type B - problèmes de fonte pendant les travaux d'été et type C - problèmes de rétablissement au cours de celui-ci ou pendant les années suivantes.

8. Parmi les cas de type A, il y a Bent Horn 1-01, Chads Creek B-64 et Parsons Lake N-10. Les fuites peuvent être dues aux dimensions trop exiguës du bassin pour des travaux donnés ou pour des travaux plus importants que prévus à un emplacement (par ex. un forage plus profond que prévu). Comme tels, les problèmes de type A sont dus à une mauvaise planification du creusage du bassin initial ou à des problèmes de forage. Dans le premier cas, le MAINC devrait s'assurer que les dimensions des bassins sont celles prescrites dans les Permis d'utilisation des terres et dans le deuxième cas,

la compagnie pétrolière concernée devrait discuter avec les fonctionnaires du MAINC des mesures correctives à prendre dès qu'elle se rend compte que le programme de forage ne se déroule pas comme prévu.

9. Parmi les mesures correctives pour les problèmes de type A, on peut envisager (a) la construction de bassins supplémentaires (b) le transport par camion des déchets liquides à d'autres champs d'épandage et (c) la modification du bassin existant. L'étude des cas de Chads Creek et celle de Bent Horn indiquent que la construction de bassins supplémentaires entraîne d'importantes perturbations du terrain et, presque inévitablement, le mélange des déchets liquides avec la couverture ou encore la dispersion de déchets liquides gelés sur la toundra. Dans les régions où l'on fore simultanéement plusieurs puits, on pourrait envisager le transport par camion des déchets liquides à un autre bassin à boue pendant l'hiver, ou à un bassin central creusé dans une région approuvée par le MAINC. L'emplacement Parsons Lake N-10 démontre clairement la difficulté d'agrandir et de modifier un bassin déjà utilisé.

10. Les problèmes de type B surviennent pendant les travaux d'été ou lorsqu'un bassin est laissé à découvert pendant l'été. Ils se manifestent souvent par une dégradation des parois du bassin, surtout le long des coins de glace, conduisant ainsi à la sape de la structure souterraine sous la tour de forage et/ou à la fuite de déchets liquides.

11. On peut y remédier en plaçant un revêtement de polyuréthane ou d'un autre isolant sur les parois du bassin, ou en détournant les eaux de forage.

12. Les problèmes de type C sont en relation avec la restauration de l'emplacement du bassin et comptent parmi les problèmes les plus communs. On en distingue facilement au moins six catégories:

    (a) L'effet "volcan" se produisant pendant le recouvrement du bassin, quand les déchets fluides ne sont pas complètement gelés et que la surface s'effondre sous le poids de la couverture, forçant les déchets liquides à remonter vers la surface.

    (b) L'affaissement et l'effondrement du bassin survenant pendant l'été suivant le retour à l'état naturel, souvent dus à l'utilisation des matériaux de couverture contenant de la neige ou de la glace et/ou à l'infiltration de l'eau d'une pente se déversant dans le bassin à boue pendant l'été.

(c) Un volume inadéquat de matériaux de couverture, dû à la fonte de la glace dans le matériau de couverture pendant l'été. La dépression qui se forme dans la couverture se remplit d'eau et cette étendue d'eau absorbe la chaleur ambiante. Ce problème se présente surtout dans les régions où les ballastières sont rares.

(d) Des fuites de déchets liquides surviennent quand les lentilles de glace des parois des bassins fondent ou quand le bassin est trop plein au moment du remplissage, ce qui entraîne des fuites par infiltration dans la zone de fonte saisonnière.

(e) Un choix d'emplacements peu judicieux, par exemple des bassins situées dans le lit de cours d'eau, etc.

(f) Des perturbations excessives du terrain, qui se produisent au cours des travaux d'été sur des terrains riches en glace de la toundra et/ou quand des bassins supplémentaires sont creusés, et/ou encore comme résultat de problèmes techniques.

13. Il faudrait tenir compte des mesures correctives relatives aux problèmes de type C dans l'ensemble des avantages d'un tel travail, étant donné que les mesures prises après l'abandon du site seraient coûteuses et qu'elles pourraient entraîner des dommages supplémentaires au terrain.

14. L'infiltration de l'eau et l'affaissement des bassins sont à l'origine de la plupart des problèmes de type C. Ces problèmes sont dus (a) aux quantités excessives de neige et de glace contenues dans les matériaux de recouvrement ou (b) à un emplacement situé sur une pente, où l'infiltration pendant l'été favorise une augmentation de la pression de l'eau absorbée par la couverture. Pour prévenir ce type de problèmes, on peut enlever la neige du bassin avant le recouvrement, effectuer le remplissage avec soin pour diminuer la quantité de neige poussée dans le bassin et construire des voies de drainage sur le côté ascendant du bassin pour détourner les eaux d'infiltration.

15. La mise en place d'importantes couvertures de gravier en forme de dôme sur les bassins à boue dans le delta du Mackenzie est une technique habituelle qui semble être efficace pour éviter les problèmes d'effondrement, les pertes de matériaux de remplissage ou l'effet "volcan". Toutefois, le gravier est rare et coûteux dans l'Arctique du Nord. Les mesures correctives proposées pour le delta du Mackenzie ne seraient peut-être pas très réalistes dans cette région.

16. Il faudrait exiger une inspection du site au cours de l'été précédent le forage et une analyse du sol au moyen de photographies aériennes avant la délivrance de tout permis, et ce, afin d'éviter les problèmes dus au choix d'un emplacement géographique peu favorable.

17. L'utilisation de gravier pour suppléer au manque de matériaux de de recouvrement et pour prévenir l'effet "volcan" pendant le remplissage des bassins est une technique assez courante et efficace utilisée par certaines compagnies forant dans le delta du Mackenzie. L'expérience faite dans les puits récents de l'Alaska démontre l'efficacité des couvertures de gravier pour la réduction des perturbations du terrain, surtout pendant les travaux d'été. On pourrait aussi réduire ces perturbations et limiter les problèmes reliés aux bassins en utilisant au Canada du gravier lorsque c'est possible.

18. Le tableau 4, Travaux de forage dans l'Arctique canadien, présente une étude sur la relation entre les problèmes liés aux bassins à boue et les divers calendriers de forage; ces derniers appartiennent à un des types suivants:

    (a) Forage en un seul hiver
    (b) Forage en deux hivers (le bassin est laissé à découvert pendant l'été et le rétablissement, pendant le deuxième hiver)
    (c) Forage en un seul été

19. Il ne fait aucun doute que les forages en un seul hiver entraînent un minimum de problèmes, car tout, du début au rétablissement, est achevé pendant les mois de l'hiver. Les problèmes les plus courants sont de type A et certains de type C, ils seraient dus surtout au choix d'un emplacement peu favorable ou à un remplissage insuffisant du rebord du bassin, suivi d'un affaissement de la couverture pendant l'été.

20. Les forages étalés sur deux hivers entraînent plus de complications que les précédents parce qu'il s'agit souvent de forages en profondeur ou parce qu'ils doivent être prolongés pendant l'été pour une raison ou une autre. Pendant ce temps, la fosse reste à découvert et ses dimensions initiales peuvent se modifier. Il est en outre possible que des mesures correctives valables pour les problèmes de type B n'aient pas été prises. Enfin, le remplissage pendant l'hiver suivant, après une série de réels problèmes de type B, pourrait être à l'origine de divers problèmes de type C, entre autres celui de l'effet "volcan" et/ou d'un manque de matériaux de recouvrement.

21. D'après l'étude des emplacements visités en 1976 et en 1977, ce sont les bassins à boue des forages d'été qui contiennent le plus grand risque de problèmes. En plus de problèmes de type A, des problèmes de types B et C peuvent aussi survenir.

22. Cependant, on aurait pu éviter ces problèmes dans les deux régions ci-dessous en utilisant d'autres méthodes pour l'élimination des déchets liquides de forage.

(a) Dans le delta contemporain du Mackenzie-Région inondée chaque année, recouverte de toundra très fournie, mais fragile, et au sous-sol riche en glace - il pourrait être préférable de déverser les déchets liquides directement sur le sol ou dans les principaux chenaux.

(b) Dans les emplacements côtiers là où le puits est situé près de la rive ou au large - il pourrait être préférable de diluer et de disperser les déchets liquides dans la mer;

dans ces deux cas, la dilution peut probablement annuler les effets toxiques.

23. Contrairement aux bassins des puits de la toundra, ceux des puits du désert polaire de l'Arctique n'ont présenté que peu de problèmes. En général, on doit considérer les milieux désertiques polaires comme moins susceptibles d'être endommagés à cause de l'absence de végétation, de l'aridité générale de ces régions et de l'absence relative de glace dans le sol. En outre, la nécessité de la retenue des déchets liquides peut ne pas être aussi importante, étant donné la faible densité de la faune et des populations humaines dans ces régions.

PROFONDEUR (cm)	TERRAIN THERMOKARSTIQUE HUMMOCKS	TERRAIN THERMOKARSTIQUE DÉPRESSIONS	PISTE D'ATTERRISSAGE D'ÉTE (tassée)	DRYAS NON PERTURBÉS DE LA TOUNDRA
Surface*	10.0	9.5	11.0	14.0
10	8.0	5.0	8.5	8.0
20	6.0	3.0	6.0	5.0
30	5.0	2.0	5.0	3.5
40	4.5	0.5	2.5	2.5
50	4.0			
60	3.0			
PROFONDEUR DU GEL 9/7/76	>80cm	57cm	60-70cm	60cm
RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT**	0.16-0.70kg/cm^2		0.5-0.9kg/cm^2	0.4-0.6kg/cm^2

* Mesures de température faites à l'aide d'une sonde YSI à thermistances et d'un téléthermomètre.

** Lectures faites à l'aide d'un appareil d'essai Soiltest Hand Vane.

TABLEAU 1. Température de la couche active (°C), profondeur de dégel et valeurs de résistance au cisaillement, emplacement Deminex Orksut I-44, île Banks, 9 juillet 1976.

PROFONDEUR (cm)	WILKIE POINT J-51 NON PERTURBÉ	WILKIE POINT J-51 PERTURBÉ (bassin à boue)	DYER BAY I-59 NON PERTURBÉ	DYER BAY I-59 PERTURBÉ (bassin à boue)
Surface*	5.0	4.5	1.5	2.0
10	4.5	4.0	3.5	3.5
20	4.0	2.5	4.5	4.0
30	2.5	1.0	4.0	3.5
40	1.0		3.0	2.5
PROFONDEUR DU GEL 16/8/76	47cm	35cm	75cm	75cm
VÉGÉTATION	Désert polaire		Désert polaire	
MATÉRIAUX	Grès et sables, formation de Wilkie Point		Sables et graviers, formation de Beaufort	

* Mesures de température effectuées à l'aide d'une sonde YSI à thermistances et d'un téléthermomètre.

TABLEAU 2. Température de la couche active (^{o}C) et profondeur de dégel dans des terrains perturbés et non perturbés des emplacements Wilkie Point J-51 et Dyer Bay I-59, île Prince-Patrick, 16 août 1976.

PROBLÈMES	EXEMPLES	COMMENTAIRES
A. Problèmes de fuite pendant le forage.	Bent Horn I-01	Deux bassins à boue ont été construits.
	Chads Creek B-64	Trois bassins à boue ont été construits.
	Parsons Lake N-10	Déversement dans le lac; érosion par ravinement; poursuites judiciaires.
B. Problèmes de fonte pendant les travaux d'été.	Bent Horn A-02	Affouillement de la plate-forme.
	Parsons Lake D-20	Fuite de déchets liquides.
	Parsons Lake A-44	Formation de thermokarst et élargissement du bassin à boue. Mise en place d'une importante couverture de gravier.
C. Problèmes du rétablissement de la végétation.		
(a) recouvrement du bassin à boue et effet "volcan"	Parsons Lake A-44	
(b) effondrement et affaissement du bassin à boue	Drake D-68; Beaverhouse Creek N-13	
(c) manque de matériaux de remplissage	Niglintgak M-19; H-30; Taglu D-55	
(d) fuite de déchets liquides	Parsons Lake D-20	
(e) mauvais choix de l'emplacement	Drake B-44; Castel Bay C-68; Hecla J-60; Kumac J-06	
(f) perturbation excessive du terrain	Bent Horn A-02; Orksut 1-44	

TABLEAU 3. Tableau analytique des problèmes reliés aux bassins à boue, et des exemples expliqués dans le texte.

MODES OPÉRATOIRES	NOMBRE D'EMPLACEMENTS DE FORAGE VISITÉS	NOMBRE D'EMPLACEMENTS PRÉSENTANT DES PROBLÈMES RELIÉS AUX BASSINS À BOUE (OU D'AUTRES PROBLÈMES)	EXEMPLES
1. Forage en un seul hiver (le début et la fin des travaux, y compris le retour à l'état naturel sont faits pendant 1 seule saison de forage en hiver).	24	4	Hecla 1-69 Drake B-44 Bent Horn 1-01
2. Forage en deux hivers (le début et la fin du forage ont lieu pendant la même saison de forage d'hiver. Le bassin à boue reste ouvert pendant l'été et le retour à l'état naturel, pendant le deuxième hiver).	12	6	Parsons Lake N-10 Parsons Lake A-44 Chads Creek B-64 Hecla J-60
3A. Forage d'été (les travaux commencent en hiver et se poursuivent pendant l'été. Le site naturel est rétabli pendant le deuxième hiver).	7	4	Taglu D-55 Bent Horn A-02
3B. Forage d'été (les travaux commencent au milieu de l'été et sont achevés pendant l'hiver suivant).	4	3	Drake D-68 Niglintgak M-19

TABLEAU 4. Classement des puits d'exploration selon les calendriers et les méthodes d'exploitation. Problèmes reliés aux bassins à boue et autres difficultés.

V. BIBLIOGRAPHIE

APOA/Environnement Canada, 1976. Industry/Government Working Group in Disposal Waste Fluids for Petroleum Exploratory Drilling in the Canadian North. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Yellowknife, T.N.-O., 12 volumes.

Argument, R.T., 1973. Specification for sump construction in the Mackenzie Delta. Shell Canada Ltd., Production Department, Drilling Division, Calgary, 9 p.

Barnett, D.M., 1973. "Anthropogenic ice: notes on a dramatic ephemeral cryergic landform" in Journal of Glaciology, volume 12, pp. 508-511.

Beak Consultants Ltd., 1974. Disposal of waste drilling fluids in the Canadian Arctic. Rapport de l'Imperial Oil Ltd., Edmonton, Alberta, 170 p.

Brown, J., 1977. "Recovery of oil drilling sites" in CRREL Benchnotes, n° 6 - novembre 1977, pp. 4-5.

Canadian Petroleum Association, 1977. Handbook of environmental guidelines for drilling sump construction. Environmental Conservation Committee, Canadian Petroleum Association, Calgary, 20 p.

Dames et Moore, 1974. Report on containment and disposal of drilling fluids in the N.W.T. Rapport rédigé pour l'Arctic Petroleum Operators Association et le gouvernement du Canada, ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, 82 p.

van Eyk, D.W. et S.C. Zoltai, 1975. Terrain sensitivity, Mackenzie Valley and Northern Yukon: North Part. Échelle de la carte; 1/1 000 000. Comité socio-écologique, pipelines du Nord, groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord, rapport n° 74-44, Environnement Canada.

Falk, M.R. et M.J. Lawrence, 1973. Acute toxicity of petro-chemical drilling fluid components and wastes to fish. Rapport technique n° CEN T 73-1, Service des pêches et de la mer, Direction générale des opérations, ministère de l'Environnement, Winnipeg, Canada, 108 p.

French, H.M., 1975a. Pingo investigations and terrain disturbance studies, Banks Island, District of Franklin. Commission géologique du Canada, rapport n° 75-1A, pp. 459-464.

French, H.M., 1975b. "Man induced thermokarst, Sachs Harbour Airstrip, Banks Island, N.W.T., Canada" in Canadian Journal of Earth Sciences, volume 12, pp. 132-144.

French, H.M., 1975c. Elf Oil Canada Ltd. wellsites, Banks Island, N.W.T., Canada. Rapport de l'Elf Oil Exploration et de la Production Canada Consultants Ltd., préparé par des consultants, Calgary, Alberta, 20 p.

French, H.M., 1976a. The periglacial environment. Longman Group Ltd., Londres et New York, 309 p.

French, H.M., 1976b. Terrain sensitivity mapping and terrain disturbance studies, Banks Island, N.W.T. Rapport RUTA OSU5-0008. MAINC, Ottawa, 99 p.

French, H.M., 1977. Geomorphology, arctic land use regulations, and oil exploration in the Arctic. Mémoire ronéotypé présenté à une réunion de l'Ontario Association of Geomorphologists, Univsersité de Waterloo, 21 janvier 1977. 8 p.

French, H.M., 1978. "Why Arctic oil is harder to get than Alaska's." in Canadian Geographical Journal, n° 94(3), pp. 46-51.

Haag, R.W. et L.C. Bliss, 1974. "Energy Budget changes following surface disturbance to upland tundra" in Journal of Applied Ecology, volume 11, pp. 355-374.

Hrudey, S.E., Michalchuk, J. et J.D. McMullen, 1974. A preliminary assessment of water pollution from abandoned oil and gaz drilling sumps in the N.W.T. Rapport du groupe de travail mixte industrie - gouvernement "A" sur l'élimination des déchets fluides de forage dans l'Arctique canadien. Service de la protection de l'environnement, région du Nord-Ouest, Environnement Canada, 42 p.

Imperial Oil Ltd., 1974. Review of petroleum spill containment dykes in the north. Rapport d'étude économique et technique SPE 3-EE-74-1, Division des interventions d'urgence, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, 47 p.

Lawrence, M. et E. Sherer, 1974. Behavioural responses of Whitefish and Rainbow Trout to drilling fluids. Rapport technique n° 502, Service des pêches et de la mer, Direction générale de la recherche et du développement, ministère de l'Environnement, Winnipeg, 47 p.

Mackay, J.R., 1963. The Mackenzie Delta Area, N.W.T. Geographical Branch Memoir, n° 8, Ottawa, 202 p.

Mackay, J.R. 1970. "Disturbances to the tundra and forest tundra environment of the Western Arctic" in Canadian Geotechnical Journal, volume 7, pp. 420-432.

McDonald, B.C. et C.P. Lewis, 1973. Geomorphic and sedimentologic processes of rivers and coasts, Yukon Coastal Plain. Rapport n° 73-79, Comité socio-écologique, pipelines du Nord, groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord, Information Canada, Ottawa, 245 p.

Peterson, N., 1976 (a). Report on land use problems and reclamation success, high Arctic Islands. Rapport interne, Section de l'utilisation des terres, MAINC, Yellowknife, 36 p.

Peterson, N., 1976 (b). Report on land use problems and restoration techniques in the Inuvik District. Rapport interne, Section de l'utilisation des terres, MAINC, Yellowknife, 34 p.

Peterson, N. 1976 (c). Report on Land Use problems and reclamation methods in the Fort Simpson District. Rapport interne, Section de l'utilisation des terres, MAINC, Yellowknife, 34 p.

Price, L.W., L.C. Bliss et J. Svododa, 1974 "Origin and significance of wet spots on scraped surfaces in the high Arctic" in Arctic n° 27, pp. 304-306.

Rampton, V.N., 1972. Surficial geology and landforms, Stanton (107D), Mallock (97F) and Aklavik (107B), District of Mackenzie. Dossiers nos 96 et 119 de la Commission géologique du Canada. Échelle des cartes: 1/125 000.

Rampton, V.N., 1974. Surficial geology, Tuktoyaktuk area, District of Mackenzie. Mémoire n° 74-53 de la Commission géologique du Canada.

Reed, J.C., 1958. "Exploration of Naval Petroleum Reserve No. 4 and adjacent areas, Northern Alaska, 1944-1953" in United States Geological Survey Professional Paper n° 301, 192 p.

Strang, R.M., 1975. Land use handbook: Guidelines to assist in the application of the Territorial land use regulations. Division de l'environnement, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement du Nord, ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, Ottawa, 2 volumes.

U.S. Navy, 1977. Continuing exploration and evaluation of Naval Petroleum Reserve No. 4; Final Environmental Impact Statement. Department of the Navy, Naval Petroleum and Oil Shale Reserves, Washington, D.C., 2 volumes, 829 p. et appendices.

Wright, D.G., 1974. Pollution aspects of drilling fluids. Rapport intérimaire destiné au groupe de travail mixte industrie-gouvernement "A", projet PDS/C/01, Service des pêches et de la mer, Direction générale des opérations, Environnement Canada, 34 p.

NOM	SOCIÉTÉ	LATITUDE LONGITUDE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR	DOSSIER AINC	DATE D'ACHÈVEMENT
Ikkariktok M-64	Columbia et al Amoco	72° 23'N 121° 50'O	Île Banks	4,226'	N73A 568	1974
Orksut 1-44	Deminex CGDC Foc Amoco	72° 23'N 122° 42'O	Île Banks	10,040'	N72A 216	1973
Sherard O-54	Dome Arctic Ventures	76° 13'N 108° 20'O	Île Melville	4,030'	N73A 540	1973
Tiritchik M-48	Elf Texaco	72° 47'N 120° 44'O	Île Banks	7,268'	N73A 591	1974
Kusrhruk D-16	Elfex et al	73° 25'N 120° 05'O	Île Banks	12,500'	N74C 807	1975
Wilkie Point J-51	Elfex et al	76° 30'N 117° 19'O	Île Prince-Patrick	7,700'	N74A 920	1975
Dyer Bay 1-59	Elf	76° 08'N 121° 48'O	Île Prince-Patrick	10,405'	N75A 005	1976
Parsons A-44	Gulf Mobil	68° 53'N 133° 40'O	Delta du Mackenzie (Pléistocène)	11,600'	N75A 944	1975
Parsons N-10	Gulf Mobil	68° 59'N 133° 31'O	Delta du Mackenzie (Pléistocène)	10,515'	N73A 328	1973
Taglu D-55	Imperial	69° 24'N 134° 59'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	12,158'	N71A 0233	1972

Annexe 1. Liste des emplacments des forages d'exploration visités en 1976 et 1977, décrits dans ce rapport.

NOM	SOCIÉTÉ	LATITUDE LONGITUDE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR	DOSSIER AINC	DATE D'ACHÈVEMENT
Wagnark G-12	Imperial	69° 11'N 133° 18'O	Delta du Mackenzie (Pléistocène)	11,718'	N73A 374	1973
Drake Point N-67	Panarctic	76° 26'N 108° 55'O	Île Melville	8,454'		1970
Drake Point L-67	Panarctic	76° 26'N 108° 55'O	Île Melville	10,671'		1970
Drake Point K-67	Panarctic	76° 26'N 108° 55'O	Île Melville	3,198'		1970
Hecla J-60	Panarctic Homestead	76° 19'N 110° 19'O	Île Melville	11,865'		1970
Central Dome H-40	Panarctic	78° 19'N 96° 15'O	Île Amund Ringnes	11,030'		1971
Hecla F-62	Panarctic Tenneco et al	76° 21'N 110° 24'O	Île Melville	4,000'	N72A 181	1972
West Amund 1-44	Panarctic Gulf	78° 23'N 97° 50'O	Île Amund Ringnes	3,137'	N72A 076	1972
Drake F-16	Panarctic Tenneco et al	76° 25'N 108° 35'O	Île Melville	4,850'	N72A 122	1972
Drake B-44	Panarctic Tenneco et al	76° 23'N 108° 16'O	Île Melville	4,580'	N72A 198	1972

Annexe 1 (suite)

NOM	SOCIÉTÉ	LATITUDE LONGITUDE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR	DOSSIER AINC	DATE D'ACHÈVEMENT
Hecla 1-69	Panarctic Tenneco et al	76° 18'N 110° 23'O	Île Melville	4,779'	N73A 353	1973
North Sabine H-49	Panarctic Homestead	76° 48'N 108° 45'O	Île Melville	12,505'	N73A 541	1974
Drake Point D-68	Panarctic et al	76° 27'N 108° 55'O	Île Melville	17,766'	N73A 442	1974
Sirius K-28	Panarctic Home Tenn et al	79° 17'N 103° 43'O	Île Ellef Ringnes	9,420'	N73A 559	1974
Bent Horn N-72	Panarctic Tenn et al	76° 21'N 103° 58'O	Île Cameron	14,379'	N73A 500	1974
Drake E-78	Panarctic POR Homestead	76° 27'N 108° 29'O	Île Melville	4,446'		1974
Castel Bay C-68	Panarctic Tenn et al	74° 07'N 120° 49'O	Île Banks	9,530'	N74A 758	1975
Chads Creek B-64	Panarctic et al	76° 23'N 109° 54'O	Île Melville	16,523'	N74A 850	1975
Collingwood K-33	Panarctic Tenn et al	76° 32'N 108° 43'O	Île Melville	6,713'	N74A 845	1975
Bent Horn A-02	Panarctic	76° 21'N 103° 58'O	Île Cameron	S/O	N75A 145	1976

Annexe 1 (suite)

NOM	SOCIÉTÉ	LATITUDE LONGITUDE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR	DOSSIER AINC	DATE D'ACHÈVEMENT
Key Point O-51	Panarctic	104° 22'O 76° 10'N	Île Vanier	S/O	N75A 146	1976
Bar Harbour E-76	Panarctic Elf	74° 17'N 123° 54'O	Île Banks	6,027'	N75A 008	1976
Mocklin Point D-23	Panarctic	78° 22'N 104° 44'O	Île Ellef Ringnes	9,193'	N75A 042	1975
Bent Horn F-72A	Panarctic	76° 21'N 103° 58'O	Île Cameron	10,716'	N75A 049	1975
Bent Horn 1-01	Panarctic	76° 21'N 103° 58'O	Île Cameron	S/O	N76A 370	1977
Charles Point G-07	Panarctic	103° 5'O 76° 27'N	Île Cameron	S/O	N76A 367	1977
Beaverhouse Creek H-13	Shell	68° 22'N 135° 33'O	Delta du Mackenzie (Chaînons Richardson)	12,295'	R-1260-16-6W	1971
Niglintgak H-30	Shell	69° 19'N 135° 20'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	7,817'	N72A 119	1973
Kugpik O-13	Shell	68° 52'N 135° 18'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	12,101'	N72A 271	1973
Kumak C-58	Shell	69° 17'N 135° 13'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	11,582	N73A 388	1973

Annexe I (suite)

NOM	SOCIÉTÉ	LATITUDE LONGITUDE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR	DOSSIER AINC	DATE D'ACHÈVEMENT
Kumak J-06	Shell	69° 15'N 135° 00'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	11,420'	N73A 494	1974
Napoiak F-31	Shell	68° 20'N 134° 53'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	5,015'	N74A 660	1974
Niglintgak M-19	Shell	69° 18'N 135° 19'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	13,200'	N73A 496	1975
Kumak K-16	Shell	69° 15'N 135° 03'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	12,170'	N74A 839	1975
Kugpik L-24	Shell	68° 53'N 135° 22'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	9,242'	N74A 817	1975
Niglintak B-19	Shell	69° 20'N 135° 16'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	S/O	N75A 002	1975
Ulu A-35	Shell	68° 42'N 135° 48'O	Delta du Mackenzie (Contemporain)	S/O	N75A 161	1976

Annexe 1 (suite)

EMPLACEMENT DU FORAGE	DATE DU FORAGE	ORGANISME RESPONSABLE	PROFONDEUR	COMMENTAIRES
Puits d'essai Simpson n° 1	Avant 1953	U.S. Navy	7000'	No sump
Puits d'essai Simpson n° 29	Été 1949	U.S. Navy	c3000'*	No sump
Old Tapagoruk	Avant 1953	U.S. Navy	c4000'*	No sump
Old Fish Creek	Été 1950	U.S. Navy	7000'	No sump
South Simpson No 1	Hiver 1976-1977	Husky Oils	8700'	Sump
Cape Halkett No 1	Mars-mai 1975	U.S. Navy (Husky Oils)	9900'	No sump
East Teschepuk Lake No 1	Mars-mai 1976	Husky Oils	10600'	Sump
South Harrison	Hiver 1976-1977	Husky Oils	12800'	Sump

* Données exactes non disponibles.

Annexe II. Liste des emplacements de forage de la NPR-4, Alaska, visités du 28-30 juin 1977.